

Universitat Politècnica de Catalunya

Facultat d'Informàtica de Barcelona

**TREBALL DE FI DE GRAU**



David Hernández Morales

**Inspecció de models anatòmics en un entorn  
immersiu col·laboratiu: aplicació a formació en  
anatomia.**

**Directores**

Isabel Navazo Álvaro

Eva Monclús Lahoya

**Departament**

Ciències de la computació

Ciències de la computació

**Titulació:** Grau en Enginyeria Informàtica

**Especialitat:** Computació

Barcelona, 2 de juliol de 2018



*“Vull agrair a la Eva i la Isabel la seva paciència, la seva amabilitat i la seva dedicació sense la qual aquest treball no hauria sigut possible. També vull agrair el suport i la comprensió de la meua mare.”*





## *Resum*

### **Inspecció de models anatòmics en un entorn immersiu col·laboratiu: aplicació a formació en anatomia.**

L'objectiu principal d'aquest treball de fi de grau ha sigut estudiar la viabilitat d'entorns de realitat virtual immersius per inspeccionar models anatòmics de forma col·lectiva en un entorn anàleg al d'una classe.

Per assolir aquest objectiu, s'ha construït, sobre el motor gràfic *Unity3D* i utilitzant *HTC Vive* com a dispositiu de realitat virtual, una aplicació on diversos usuaris interactuen al voltant d'un model anatòmic. Per tal de que els usuaris siguin capaços d'interaccionar entre ells i amb l'entorn s'han implementat diverses metàfores d'interacció.

La usabilitat de l'aplicació s'ha comprovat amb un test d'usuari que ens ha permès confirmar la viabilitat dels entorns col·laboratius com a mètode d'ensenyament en l'anatomia. A més, els comentaris dels usuaris han permès identificar possibles millores en l'aplicació



## *Resumen*

### **Inspecció de models anatòmics en un entorn immersiu col·laboratiu: aplicació a formació en anatomia.**

El objetivo principal de este trabajo de fin de grado ha sido estudiar la viabilidad de entornos de realidad virtual inmersivos para inspeccionar modelos anatómicos de forma colectiva en un entorno análogo al de una clase.

Para conseguir este objetivo, se ha construido, sobre el motor gráfico *Unity3D* y utilizando *HTC Vive* como dispositivo de realidad virtual, una aplicación donde diversos usuarios interactúan alrededor de un modelo anatómico. Con tal de que los usuarios sean capaces de interactuar entre ellos y con el entorno se han implementado diversas metáforas de interacción.

La usabilidad de la aplicación se ha comprobado con un test de usuario que nos ha permitido confirmar la viabilidad de los entornos colaborativos como método de enseñanza en la anatomía. Además, los comentarios de los usuarios nos han permitido identificar posibles mejoras en la aplicación



## *Abstract*

### **Inspecció de models anatòmics en un entorn immersiu col·laboratiu: aplicació a formació en anatomia.**

The main objective of this bachelor's thesis has been studying the viability of immersive virtual reality environments to examine anatomic models collectively in an environment analogous to that of a classroom.

To accomplish this objective, we have built an application where several users interact around an anatomic model using *Unity3D* as the graphics engine and *HTC Vive* as the virtual reality device. In order to let users be able to interact between them and with the environment several interaction metaphors have been implemented.

The usability of the application has been checked with a user test that has allowed us to confirm the viability collaborative environments as a teaching method for anatomy. Furthermore, the feedback received from the users has allowed us to identify possible improvements in the application.



# Índex

<b>1</b>	<b>Introducció</b>	<b>1</b>
1.1	Objectiu del treball i motivacions . . . . .	1
1.2	Estructura de la memòria . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Context</b>	<b>3</b>
2.1	Cross reality i realitat virtual . . . . .	3
2.2	Classificacions dels sistemes de realitat virtual . . . . .	4
2.3	Ensenyament en anatomia . . . . .	8
2.3.1	Aprenentatge basat en ordinadors . . . . .	9
2.3.2	Dissecció de cadavers vs Mètodes basats en ordinador . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Objectius i requisits</b>	<b>11</b>
3.1	Formulació del problema i objectius . . . . .	11
3.2	Requisits funcionals de l'aplicació . . . . .	12
3.3	Requisits de hardware de l'aplicació . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Abast del problema</b>	<b>15</b>
4.1	Eines utilitzades . . . . .	15
4.2	Arquitectura de l'aplicació . . . . .	16
4.3	Possibles obstacles i limitacions . . . . .	18
4.4	Metodologia de treball . . . . .	19
<b>5</b>	<b>Tècniques d'interacció</b>	<b>21</b>
5.1	Navegació . . . . .	22
5.2	Manipulació d'objectes . . . . .	25
5.3	Control del sistema . . . . .	30
5.3.1	Menú principal . . . . .	32
5.3.2	Menú usuaris . . . . .	40
5.4	Entrada de símbols . . . . .	43
<b>6</b>	<b>Usabilitat</b>	<b>45</b>
6.1	Test d'usuari . . . . .	45
6.2	Resultats i comentaris . . . . .	47
6.3	Possibles millores . . . . .	48

<b>7</b>	<b>Gestió de projectes</b>	<b>49</b>
7.1	Actors implicats . . . . .	49
7.1.1	Desenvolupador . . . . .	49
7.1.2	Director i co-director . . . . .	49
7.1.3	Beneficiaris . . . . .	49
7.2	Planificació del projecte . . . . .	50
7.2.1	Definició i planificació del projecte . . . . .	50
7.2.2	Anàlisi i estudi de les tecnologies a utilitzar . . . . .	50
7.2.3	Implementació de l'aplicació . . . . .	51
7.2.4	Test d'usabilitat final . . . . .	51
7.2.5	Documentació . . . . .	52
7.3	Pressupost i sostenibilitat . . . . .	53
7.3.1	Pressupost del projecte . . . . .	53
7.3.2	Control del pressupost . . . . .	56
7.3.3	Sostenibilitat . . . . .	57
<b>8</b>	<b>Conclusions</b>	<b>59</b>
	<b>Annex A</b>	<b>65</b>

## Índex de figures

2.1	Exemples de visualitzacions obtingudes amb els diferents tipus de <i>Cross Reality</i> : Realitat Virtual (a), Realitat Augmentada (b) i Realitat Mixta (c). . .	4
2.2	Sistema de realitat virtual semi-immersiu: powerwall . . . . .	5
2.3	Usuari utilitzant un entorn semi-immersiu . . . . .	6
2.4	El dispositiu <i>HTC Vive</i> . . . . .	7
2.5	Diagrama d'un entorn col·laboratiu immersiu local. Els usuaris es troben en el mateix espai físic. . . . .	8
4.1	Diagrama de l'arquitectura client-servidor en Internet. . . . .	16
4.2	Esquema de l'arquitectura que utilitza UNet pel pas de missatges. . . . .	17
4.3	Esquema de l'arquitectura de l'aplicació . . . . .	18
5.1	Una taxonomia de les tècniques emprades per resoldre el problema del moviment, extret de [1]. . . . .	23
5.2	Esquema de la disposició física de l'usuari i una base per monitoritzar el moviment de l'usuari. . . . .	24



5.3	Superposició de la barrera del sistema de <i>Chaperone</i> de SteamVR dins del món real. . . . .	25
5.4	Fotografia de l'espai físic i instantània de l'aplicació en un moment determinat. . . . .	26
5.5	Sis graus de llibertat, tres de translació i tres de rotació. . . . .	27
5.6	Tècnica Go-Go . . . . .	29
5.7	Retall de l'aplicació on es mostra el punter virtual, que apareix com un làser per seleccionar a distància. . . . .	30
5.8	Una taxonomia de tècniques de selecció i manipulació. Extreta de [2]. . . .	31
5.9	Seqüència d'instantànies de l'aplicació quan un usuari està rotant el mdoel. . . .	32
5.10	Classificació de les formes de mostrar una GUI en entorns 3D. Extreta de [3] . . . .	32
5.11	Instantània del menú principal en l'aplicació . . . . .	34
5.12	Esquema del comandament del <i>HTC Vive</i> amb el trigger assenyalat. . . . .	35
5.13	Instantània del model amb una bandera introduïda . . . . .	35
5.14	Seqüència d'instantànies de l'aplicació quan un usuari introdueix una bandera . . . . .	36
5.15	Seqüència d'instantànies de l'aplicació quan un usuari introdueix una bandera . . . . .	37
5.16	Seqüència d'instantànies de l'aplicació quan un usuari dibuixa . . . . .	38
5.17	Seqüència d'instantànies de l'aplicació quan un usuari esborra un dibuix . . . . .	39
5.18	Menú que tenen els usuaris a sobre del seu avatar. . . . .	40
5.19	Seqüència d'instantànies de l'aplicació quan un usuari agafa el punt de vista d'un altre usuari . . . . .	41
5.20	Seqüència d'instantànies de l'aplicació quan un usuari demana la informació d'un altre usuari . . . . .	42
5.21	Figura on es mostra la boleta negra que surt quan el professor assenyala. . . . .	43
6.1	Boxplot del resum de respostes a les preguntes del test d'usuari. . . . .	47
7.1	Diagrama de gantt. Generat amb <a href="https://app.ganttpro.com/">https://app.ganttpro.com/</a> . . . . .	52

## Índex de taules

7.1	Taula dels temps de realització de les tasques . . . . .	52
7.2	Pressupost del hardware . . . . .	53
7.3	Pressupost del software . . . . .	54
7.4	Pressupost de recursos humans . . . . .	54

7.5	Temps estimat per professió . . . . .	55
7.6	Costs inesperats . . . . .	55
7.7	Costs indirectes . . . . .	56
7.8	Pressupost total . . . . .	56
7.9	Matriu de sostenibilitat del projecte. . . . .	57



## Capítol 1

# Introducció

En medicina i infermeria, és absolutament necessari conèixer l'anatomia del cos humà per poder identificar i resoldre problemes mèdics. Com a part integral de qualsevol currículum en medicina, l'ensenyament de l'anatomia té mètodes tradicionals de provada efectivitat. L'ús d'atles anatòmics o disseccions de cadàvers es troben entre els més utilitzats [4]. No obstant, no són els mètodes òptims per a l'aprenentatge. Els llibres tenen el gran desavantatge de que són bidimensionals. Tot i la utilització de la perspectiva com a mètode per a intentar resoldre aquest problema, no són substituïts de la percepció tridimensional que donen les disseccions de cadàvers. No obstant, aquest últim mètode comporta unes despeses que moltes vegades no són sostenibles. Sobretot si el rati d'alumnes per classe és elevat.

És per això que, amb l'adveniment de la realitat virtual, s'han introduït nous mètodes per ensenyar anatomia que permeten una percepció tridimensional de models anatòmics sintètics o de reconstruccions d'estructures anatòmiques obtingudes a partir d'imatges mèdiques.

### 1.1 Objectiu del treball i motivacions

L'objectiu principal d'aquest treball de fi de grau és comprovar l'efectivitat i la viabilitat d'entorns immersius col·laboratius locals en el marc d'una classe, on hi ha un professor i diversos alumnes, per ensenyar anatomia humana.

Concretament, suposem que diferents usuaris poden interaccionar simultàniament amb el mateix model digital d'un sistema anatòmic cadascú utilitzant un sistema de realitat virtual immersiu. En aquest sistema poden veure el model digital amb visió estereoscòpica però no poden veure els altres usuaris ni a sí mateixos. Tots els usuaris estan

en el mateix espai físic i, a més d'introduir sistemes per evitar col·lisions, calen procediments per compartir la informació que cada usuari pot assenyalar, marcar o introduir en el model.

Malgrat una cerca en els principals servidors de recerca no s'han observat molts sistemes col·laboratius immersius on els diferents usuaris estiguin disposats en la mateixa localització física. Per tant, la motivació d'aquest treball ve donada per la necessitat de comprovar la efectivitat d'aquest tipus de sistemes, a priori desconeguda.

## **1.2 Estructura de la memòria**

Aquest treball de fi de grau està dividit en diferents capítols:

El capítol 2 dóna un resum dels conceptes més importants relacionats amb aquest projecte i del treball relacionat.

El capítol 3 presenta els objectius d'aquest projecte i formula específicament el problema que es vol resoldre.

El capítol 4 descriu quin és l'abast del problema, fins a on s'ha d'implementar i quines són les eines utilitzades.

El capítol 5 analitza les principals tasques de tot sistema 3D i esmena i descriu les diferents tècniques d'interacció proposades per solucionar-les.

El capítol 6 descriu el test d'usuari que es va conduir i comenta els resultats del mateix.

El capítol 7 parla de la gestió de tot el projecte: la planificació, el pressupost i l'anàlisi de sostenibilitat.

## Capítol 2

# Context

En aquest capítol explicarem els conceptes principals que envolten a aquest treball. És necessari entendre'ls per tenir una visió informada dels objectius i del desenvolupament del projecte. A la secció 2.1 expliquem breument les diferents tecnologies de *Cross Reality* i a la secció 2.2 classifiquem els diferents tipus de realitat virtual. Per últim, a la secció 2.3 parlem dels diferents mètodes per ensenyar anatomia.

### 2.1 Cross reality i realitat virtual

Un dels objectius dels gràfics per computador és la simulació gràfica de la realitat. Tradicionalment, la renderització es feia en sistemes no immersius. Per contra, l'anomenada *Cross Reality* (o XR) [5] és un terme utilitzat per definir les tecnologies que combinen escenes digitals i reals. Corresponen a aquesta categoria la realitat virtual, la realitat augmentada o la realitat mixta (veure figura 2.1<sup>1</sup>). La realitat virtual és una experiència generada per computador dins d'un entorn simulat, que inclou diferents mètodes de retroalimentació (sonora, visual o tàtil). La realitat augmentada és una experiència interactiva on elements del món real són "augmentats" amb informació generada per ordinador. La realitat mixta és la fusió de mons reals i virtuals per produir nous entorns i visualitzacions amb objectes reals i virtuals coexisteixen i interactuen en temps real, a diferència de la realitat augmentada.

En els últims anys, l'avançament d'aquestes tecnologies ha sigut intens, particularment el de la realitat virtual.

---

<sup>1</sup>Extret de <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-virtual-reality-augmented-reality-and-mixed-reality>

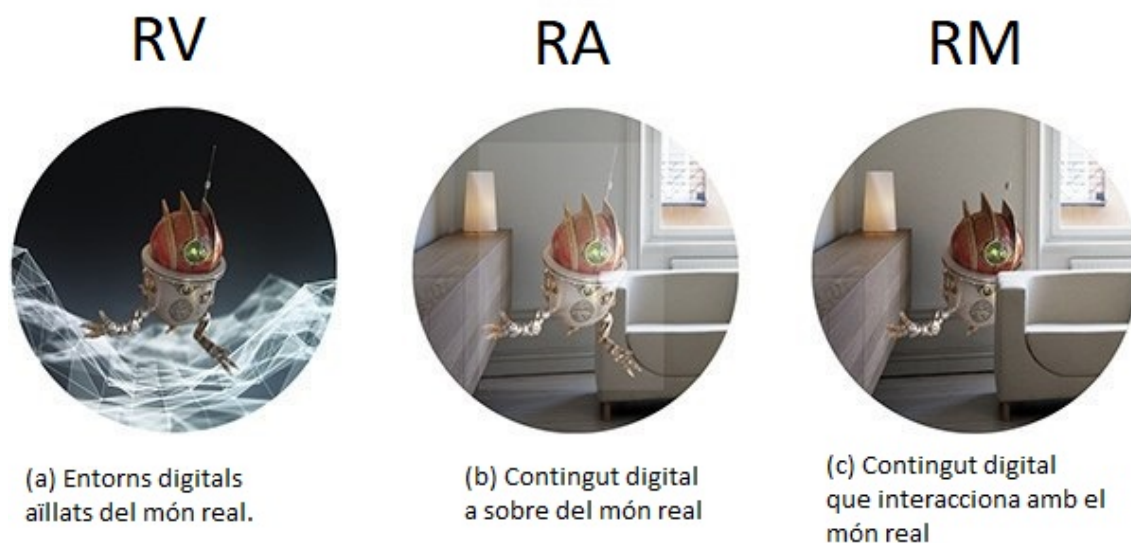


Figura 2.1: Exemples de visualitzacions obtingudes amb els diferents tipus de *Cross Reality*: Realitat Virtual (a), Realitat Augmentada (b) i Realitat Mixta (c).

## 2.2 Classificacions dels sistemes de realitat virtual

La realitat virtual es pot classificar de dues maneres [6]. D'una banda tenim la realitat virtual semi-immersiva, amb dispositius com powerwalls (veure figures 2.2 i 2.3), que són pantalles estèreo d'alta resolució on l'usuari aconsegueix veure l'escena de forma tridimensional, però a la vegada pot veure el món que l'envolta gràcies a la projecció de les imatges en estèreo.

D'altra banda tenim sistemes de realitat virtual totalment immersius com HTC Vive (veure figura 2.4) en el qual l'usuari utilitza uns dispositius anomenats *Head Mounted Displays* (HMD) que la persona es posa al cap. Cada ull, mitjançant unes lents [7] veu una pantalla diferent on es renderitzen els elements gràfics de forma estereoscòpica. Aquestes pantalles normalment necessiten un refresc mínim d'uns 90fps o més [8] per no percebre latència, per tant requereixen un hardware de bones prestacions gràfiques. Els HMD incorporen sensors de moviment per monitoritzar la posició en el món real o d'altres parts del cos.

Una altra classificació que es pot establir en la realitat virtual és la distinció entre sistemes monousuari i multiusuari o col·laboratius. En els sistemes semi-immersius, per construcció hi pot haver múltiples usuaris visualitzant l'escena encara que el punt de vista on es genera la imatge només és correcte per un d'ells. En els sistemes immersius, donat que l'usuari no percep el món real, la presència d'altres usuaris no és obligada i poden ser individuals o col·laboratius. És a dir, els diferents usuaris poden observar els mateixos



Figura 2.2: Sistema de realitat virtual semi-immersiu: powerwall





Figura 2.3: Usuari utilitzant un entorn semi-immersiu



(a) *HTC Vive*, un dispositiu d'un sistema de realitat virtual immersiva.



(b) Un usuari utilitzant l'*HTC Vive*

Figura 2.4: El dispositiu *HTC Vive*

models encara que no es puguin veure entre sí. El punt de vista de l'escena pot ser diferent per cadascú. A la mateixa vegada, aquests entorns col·laboratius poden ser remots si els diferents usuaris es troben en espais físics diferents i locals si es troben en el mateix lloc (veure figura 2.5).

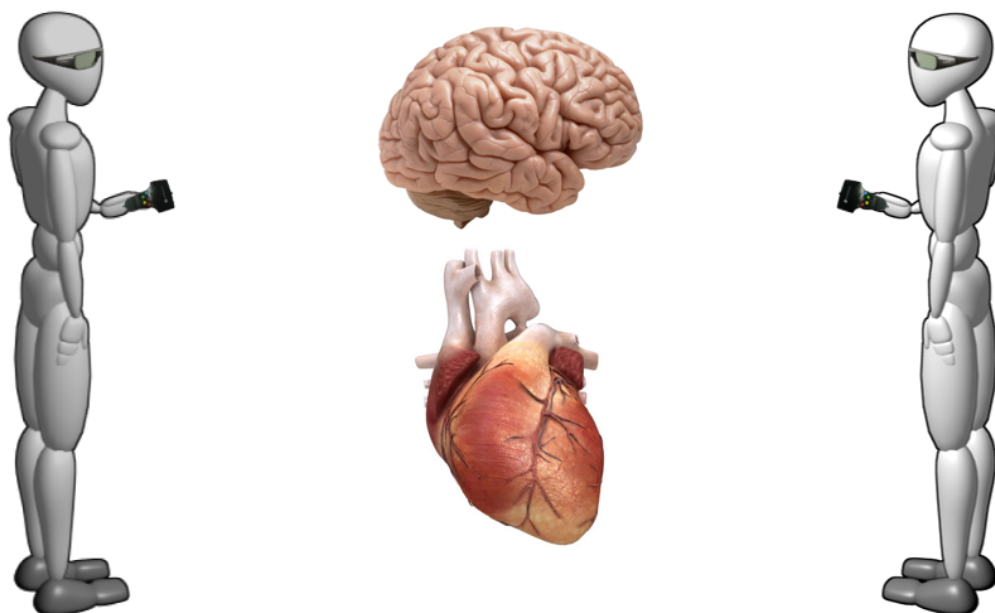


Figura 2.5: Diagrama d'un entorn col·laboratiu immersiu local. Els usuaris es troben en el mateix espai físic.

## 2.3 Ensenyament en anatomia

Com ja s'ha mencionat prèviament, l'anatomia és un aspecte integral de qualsevol currículum en educació mèdica. Qualsevol estudiant de medicina necessita entendre el cos humà i les seves estructures anatòmiques de forma extensiva. L'estudi de l'anatomia admet diverses àrees d'estudi. D'entre elles [9] podem distingir l'*anatomia macroscòpica* (l'estudi d'estructures anatòmiques macroscòpiques), la *histologia* (l'estudi de l'anatomia microscòpica) i la *neuroanatomia* (anatomia del sistema nerviós). Aquest treball se centra en l'estudi de l'anatomia macroscòpica.

Rosse va proposar [10] una classificació en dos dominis de la informació anatòmica:

- **Domini espacial:** comprèn la informació sobre la forma, la mida, etc. de les diferents estructures anatòmiques

- **Domini simbòlic:** la descripció verbal de les estructures anatòmiques i dels diferents conceptes o interrelacions.

La separació de l'anatomia en aquests dos dominis permet desenvolupar un model cognitiu que fa més fàcil l'aprenentatge i la creació de models pedagògics. En el nostre cas, ambdós dominis es treballen en l'aplicació final.

Existeixen diversos mètodes per ensenyar anatomia. Específicament, per a l'ensenyament de l'anatomia macroscòpica, el mètode tradicional ha estat la dissecció de cadàvers [4]. Altres mètodes inclouen lliçons en classe o llibres de text. Cada mètode té els seus avantatges i inconvenients, i no existeix un mètode definitiu. Per tant, és convenient utilitzar una combinació adequada dels diferents mètodes. En les següents seccions discutirem alguns dels mètodes d'aprenentatge basats en l'ordinador i els comparem amb la dissecció de cadàvers.

### 2.3.1 Aprenentatge basat en ordinadors

Hi han molts mètodes que pretenen facilitar l'aprenentatge de l'anatomia basats en la computació. Bases de dades, atles interactius, i, últimament, aplicacions basades en realitat virtual, d'entre altres.

VOXEL-MAN [11] és un dels pioners en introduir models anatòmics tridimensionals amb una interfície interactiva. Combina el domini espacial i el domini simbòlic etiquetant estructures i descrivint estructures anatòmiques. Aquesta aplicació utilitza el *Visible Human dataset* [12], utilitzat per aplicacions mèdiques basades en computadors. Altres exemples en són *BioDigital* <sup>2</sup>, una plataforma de visualització o *Zoom illustrator* [13], que utilitza mètodes sofisticats per etiquetar objectes 3D.

Cal mencionar que projectes com aquests intenten emular un atles anatòmic. L'inconvenient d'aquest tipus de solucions és que no donen molta llibertat als usuaris, que de vegades en voldrien més a l'hora de poder interaccionar amb els models utilitzant aquests sistemes [14].

### 2.3.2 Dissecció de cadàvers vs Mètodes basats en ordinador

El mètode principal per ensenyar anatomia segueix sent la dissecció de cadàvers. Ara bé, hi ha un cert debat sobre si és el millor mètode [4]. No només el nombre de cadàvers està disminuint, sinó que també té altres inconvenients com la poca idoneïtat per a classes amb un nombre elevat d'alumnes, el temps que es triga o les despeses que generen. A

---

<sup>2</sup><https://www.biodigital.com/>

més, és inefectiu per zones del cos altament complexes, com són la oïda interna, on s'ha trobat que models anatòmics tridimensionals són millors que la dissecció [15].

Els mètodes d'aprenentatge basats en ordinador intenten solucionar molts d'aquests problemes. De fet, Starkweather al 1967 [16] ja va discutir la seva idoneïtat i estudis més recents diuen que "S'està convertint en una "veritat universalment acceptada" que la educació dels estudiants universitaris de medicina serà millorada mitjançant l'ús de aprenentatge basat en ordinadors" [17]. Els mètodes d'ensenyament d'anatomia que utilitzen aplicacions per computador poden donar una retroalimentació dinàmica, que permet als estudiants explorar al seu ritme. A més, les estructures anatòmiques i les seves relacions espacials poden quedar destruïdes en una dissecció. Per contra, això no passa amb aquests sistemes. Fins i tot, permeten manipular aquestes estructures d'una forma que no és possible en la vida real, per exemple escalant-les i rotant-les.

Tot i els avantatges dels models virtuals, no són substituïts dels cadàvers. Ja que són necessaris per a preparar als alumnes per la pràctica mèdica [18], on es trobaran casos reals on és necessari conèixer el cos humà de forma tàctil per explorar i identificar problemes.

## Capítol 3

# Objectius i requisits

Segons William R. Sherman i Alan B. Craig [19], hi ha quatre aspectes importants d'un sistema de realitat virtual: el món virtual, la immersió sensorial, la simulació interactiva i la interacció simple/natural. El món virtual és el model digital que es visualitza. La immersió sensorial és la sensació que té l'usuari de formar part del món virtual, la fonamental és la immersió visual que es produeix gràcies a la visualització en estèreo del model; però pot també existir immersió hàptica (sensació de tocar els objectes) utilitzant dispositius concrets. Simulació interactiva està lligat a que el sistema ha de poder respondre en temps real a canvis en la visualització del model d'acord a modificació de la posició de l'observador o a la interacció de l'usuari. Per últim, la interacció natural és un factor clau, que es correspon a les tècniques que s'utilitzen per capturar la interacció de l'usuari amb l'escena virtual. És aquest darrer aspecte el que principalment s'ha treballat en aquest treball de grau (capítol 5).

Una vegada vists els aspectes més importants d'un sistema de la realitat virtual, passem a definir els objectius específics del nostre sistema així com els requisits de la nostra aplicació. A la secció 3.1 formularem el problema de forma específica. I a les seccions 3.2 i 3.3 parlarem dels requisits funcionals que ha de tenir l'aplicació i dels requisits de hardware que impliquen la nostra elecció del HTC Vive com a HMD.

### 3.1 Formulació del problema i objectius

A la secció 1.1 ja s'ha mencionat l'objectiu global del treball. Però per poder dur a terme el projecte s'han d'establir uns objectius intermedis i específics. Com que el nostre objectiu es provar entorns col·laboratius immersius i la seva efectivitat com a eina educativa, hem de tenir un prototipus d'una aplicació que implementi aquest tipus d'entorns i avaluar-la amb usuaris reals. És a dir, els dos objectius generals són:

- Especificar, dissenyar i implementar una aplicació de realitat virtual immersiva multiusuari, on els diferents usuaris es troben en el mateix espai físic i poden interactuar entre ells i amb un model anatòmic, simulant una classe.
- Avaluar la aplicació amb un test d'usuaris aliens al projecte, per obtenir les seves opinions i analitzar la viabilitat del prototip i de les tècniques de interacció proposades.

Aquest treball no pretén comparar aquest tipus de sistemes amb altres existents per a l'ensenyament en anatomia (veure secció 2.3.1) com fan altres estudis [15] [20]. Per tant, el test d'usuari pot ser més lleuger i no cal incloure grups de control. Com a conseqüència, no es podran fer afirmacions generals sobre la idoneïtat d'aquest tipus de sistemes com a eina d'aprenentatge. En el capítol 6 explicarem en més detall l'estudi realitzat i comentarem els resultats.

## 3.2 Requisits funcionals de l'aplicació

Una vegada introduïts els objectius principals del projecte, passem a parlar dels requisits funcionals de l'aplicació, establerts en la fase d'especificació.

Aquests requisits s'han fixat a partir d'un anàlisi de com es realitza una classe d'anatomia a estudiants d'infermeria en un sistema semi-immersiu [20]. Aquestes sessions es van realitzar els dos darrers anys en el Centre de Realitat Virtual de la UPC a estudiants de primer curs d'Infermeria de la Fundació Sant Joan de Déu. Per tant, els usuaris es distingiran en professor i alumnes. I quan es parla d'usuari en general pot ser qualsevol d'ells.

És important notar que com que la metodologia del projecte és una metodologia àgil (veure secció 4.4), aquests requisits es van anar modificant i adaptant als comentaris i tests intermedis que s'anaven fent. A continuació es detallen els requisits:

- Els usuaris han de veure en tot moment la posició física dels altres usuaris en el món real. Aquesta posició serà representada mitjançant avatars. Això és necessari per evitar col·lisions, ja que els usuaris no poden veure l'espai físic que els envolta.
- Els usuaris han de poder diferenciar-se entre sí, mitjançant colors diferents o formes diferents.
- Els usuaris han de poder distingir al professor dels alumnes.
- Cada usuari pot interactuar amb el model de forma individual, per modificar la posició relativa del model respecte si mateix i rotar-lo.

- Els usuaris podran introduir informació simbòlica en el model per identificar o marcar parts importants.
- Els usuaris, en determinades circumstàncies, podran veure el model des del punt de vista d'altres usuaris així com la informació introduïda pels mateixos. Aquesta funcionalitat és important perquè segons el punt de vista de l'escena que tingui un usuari la informació que introdueix pot no ser visible des del punt de vista d'un altre usuari.
- L'aplicació tindrà dos modes: mode ensenyament i mode examen.
- En el mode ensenyament, el professor és l'únic que pot rotar el model i introduir informació. A més, disposarà d'algun mètode per assenyalar parts d'interès en temps real a tots els estudiants. Els usuaris, poden obtenir el punt de vista i la informació del professor. Cap altre usuari pot obtenir ni el punt de vista ni la informació de cap altre usuari. Aquest mode està pensat per simular una classe on el professor explica les diferents parts del cos i els altres escolten.
- En el mode examen, tothom pot rotar el model i afegir informació. Però només el professor pot agafar la informació i el punt de vista dels alumnes. A més, pot escollir si assenyalar parts interessants en temps real amb cada alumne individualment. Cap altre usuari pot obtenir ni el punt de vista ni la informació de cap altre usuari.

### 3.3 Requisits de hardware de l'aplicació

En el mercat existeixen diversos sistemes de realitat virtual immersiva [21], però en aquest projecte utilitzarem l'*HTC Vive* <sup>1</sup> (veure figura 2.4) perquè és del que es disposa en el grup de recerca ViRVIG (Visualització, Realitat Virtual i Interacció Gràfica <sup>2</sup>) i perquè té les funcionalitats requerides. Cada usuari ha d'utilitzar un dispositiu Vive. A més del *head mounted display* són necessàries dues bases per a l'habitació i un comandament per usuari. L'*HTC Vive* té una sèrie de requisits de hardware [22], que s'han de tenir en compte (veure secció 7.3.1), per tal de que l'aplicació sigui fluida amb un mínim de 90fps mínims[8]. Específicament:

- CPU: Intel i5-4590 / AMD FX 8350 equivalent o millor.
- GPU: NVIDIA GeForce GTX 970, AMD Radeon R9 290 equivalent o millor.
- RAM: 4GB o millor.
- Sistema Operatiu: Windows 7 (SP1) o millor. Linux (experimental) <sup>3</sup>

---

<sup>1</sup><https://www.vive.com/eu/>

<sup>2</sup><https://www.virvig.eu/>

<sup>3</sup>[https://www.reddit.com/r/Vive/comments/674jyv/the\\_vive\\_works\\_in\\_linux/](https://www.reddit.com/r/Vive/comments/674jyv/the_vive_works_in_linux/)





## Capítol 4

# Abast del problema

En aquest capítol discutirem de quin software partirem, quines llibreries o plataformes utilitzarem i què caldrà dissenyar i implementar. En la secció 4.1 parlarem de les eines que s’han utilitzat per fer l’aplicació, i en la secció 4.2 analitzem l’arquitectura d’aquesta. Finalment, en la secció 4.3 es discuteixen els principals obstacles que poden sortir durant el desenvolupament de l’aplicació.

### 4.1 Eines utilitzades

Per fer l’aplicació d’aquest projecte no partirem de zero. Farem servir el motor gràfic *Unity3D*<sup>1</sup> ja que té els components que necessitem: suport per a realitat virtual i subsistema de comunicació a través de la xarxa. A més, com tot motor gràfic, té components necessaris per a qualsevol aplicació gràfica i que portarien molt de temps si s’implemmentessin des de zero (renderitzat de models, editor d’escenes, importador de textures, shading, etc.). La llicència de Unity permet la seva utilització per a estudiants i organitzacions que tinguin un pressupost inferior a \$100.000 [23], que és el nostre cas i, per tant, el podem utilitzar.

A més de *Unity3D*, utilitzarem un framework anomenat *Virtual Reality ToolKit* (VRTK)<sup>2</sup>, que proporciona algunes tècniques d’interacció en realitat virtual ja implementades, com per exemple punters làser o ressaltat d’objectes.

Per últim, els models anatòmics que s’utilitzaran en l’aplicació seran els desenvolupats en el marc d’un projecte del ViRVIG, els models que s’utilitzaran per representar als usuaris

---

<sup>1</sup><https://unity3d.com/>

<sup>2</sup><https://vrtoolkit.readme.io/>

seran els proporcionats per un projecte del Joan Fons, i els models digitals dels comandaments seran els que proporciona el propi SteamVR.

Un cop analitzades les eines descrites i obtingut un bon coneixement de les eines de les que disposem, es dissenyaran i programaran diferents tècniques per inspecció, per etiquetar la informació i per a què els usuaris puguin compartir intercanviar informació de manera interactiva i amb retroalimentació visual. S'incorporarà tot en el marc de l'aplicació indicada en els objectius.

## 4.2 Arquitectura de l'aplicació

Com es va veure a la secció 3.2, les funcionalitats de l'aplicació requereixen l'ús de la xarxa per establir una comunicació entre usuaris. Unity té incorporat la comunicació en xarxa, de forma que no és necessari utilitzar altres llibreries o frameworks ja que està integrat de forma nativa. L'arquitectura del framework de xarxes de Unity, anomenat *UNet*<sup>3</sup>, és client-servidor. L'arquitectura client-servidor és bastant clàssica i coneguda (veure figura 4.1).

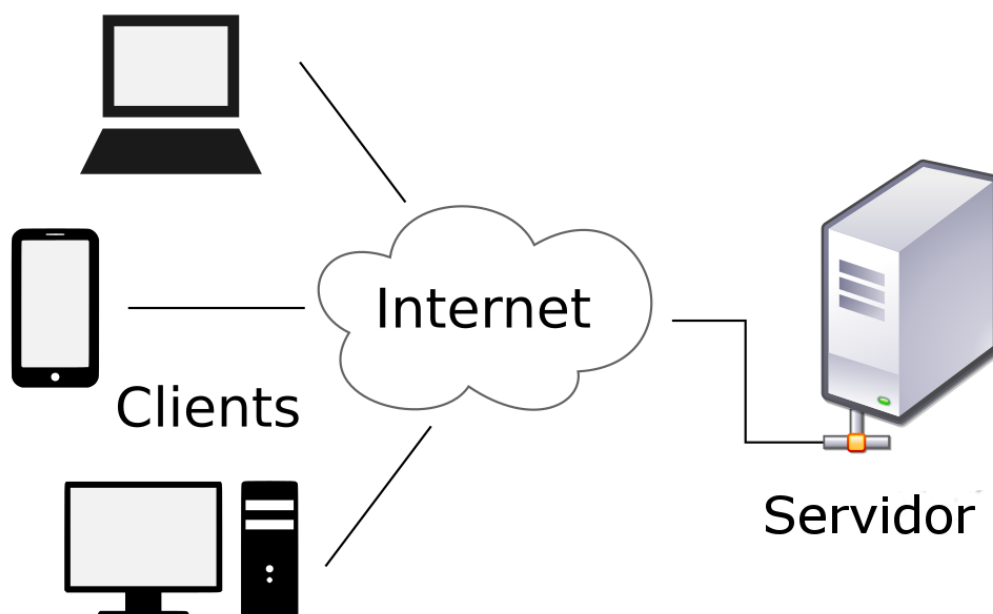


Figura 4.1: Diagrama de l'arquitectura client-servidor en Internet.

Unity ofereix dues possibilitats dins d'aquesta arquitectura, utilitzar el servidor com a

<sup>3</sup><https://docs.unity3d.com/Manual/UNet.html>

servidor dedicat o fer que el servidor sigui un *host*, és a dir, que no només comuniqui els diferents clients si no que també tingui un client intern que es comunica amb la resta. Això està pensat perquè com que Unity és una plataforma pensada per videojocs, la majoria de videojocs en xarxa tenen un servidor dedicat que s'encarrega exclusivament dels càlculs i de la comunicació. Com que la nostra aplicació està distribuïda en una xarxa local, utilitzarem un *host* en comptes d'un servidor dedicat.

La comunicació entre client i servidor es pot fer de dues formes: mitjançant *remote procedure calls* [24], que són crides a funcions des d'un client que s'executen en un servidor o viceversa i que Unity anomena *Commands* i *ClientRPC*, o mitjançant pas de missatges (veure figura 4.2).

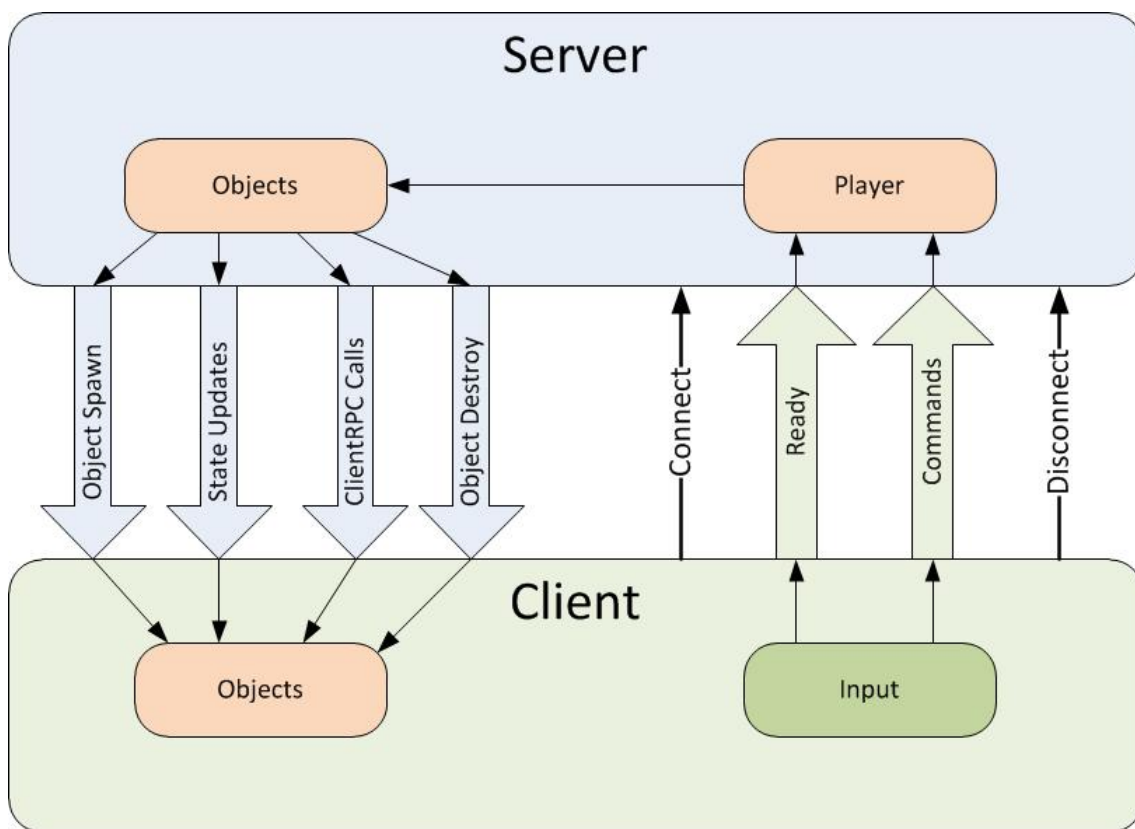


Figura 4.2: Esquema de l'arquitectura que utilitza UNet pel pas de missatges.

A més de tot aquest sistema de comunicació, Unity permet transmetre la posició i rotació d'un objecte en l'espai tridimensional de forma periòdica per la xarxa. Això és necessari per que els usuaris vegin la posició dels altres usuaris en tot moment. En la figura 4.3 hi ha un esquema del diagrama de nivells de l'aplicació en un client determinat.



Figura 4.3: Esquema de l'arquitectura de l'aplicació

### 4.3 Possibles obstacles i limitacions

#### Ample de banda i latència

Un possible obstacle a l'hora de desenvolupar aplicacions en xarxa sempre és la latència i l'ample de banda de la xarxa. Això sempre és un factor limitant. És molt important per a una aplicació de realitat virtual immersiva tenir fluïdesa a l'hora de renderitzar el món virtual [8] i això inclou el refresc de la informació que ve de la xarxa. Per sort, la nostra aplicació es desenvolupa en xarxa local i la informació intercanviada no és gran per tant cap d'aquests factors ens limita la fluïdesa de l'aplicació.

#### Plataforma de desenvolupament

L'elecció de Unity com a plataforma de desenvolupament no ha sigut arbitrària. El con-

junt de característiques mencionades en els apartats anteriors fan que Unity sigui adequat per al desenvolupament d'aquesta aplicació. No obstant, com tota aplicació de codi tancat és difícil predir si el resultat serà l'esperat ja que s'ha d'adaptar l'aplicació a la plataforma. Això comporta una limitació en el desenvolupament de l'aplicació i fins i tot podria afectar a la eficiència. No obstant, l'*overhead* que dóna Unity és mínim i no s'han detectat ineficiències rellevants. Si hagués sigut així, es podrien mirar altres motors gràfics com *Unreal Engine* <sup>4</sup> o fins i tot utilitzar una comunicació en xarxa a baix nivell de .NET Framework <sup>5</sup>.

### Errors en el codi

Potser el factor que pot obstaculitzar més un projecte de desenvolupament d'una aplicació són els errors en el codi o *bugs*. És un factor que sempre s'ha de tenir en compte perquè un error pot introduir comportaments inesperats o trencar la usabilitat d'alguna funcionalitat. A més és un obstacle inevitable sempre que es programa. No hi ha més solució que debugar una vegada apareixen. Es poden introduir mesures preventives, com procurar que el codi sigui net i llegible, segueixi principis de programació orientada a objectes però no són mesures definitives. En el desenvolupament de l'aplicació aquest ha sigut el factor més limitant.

## 4.4 Metodologia de treball

Existeixen moltes metodologies per al desenvolupament del software [25], però la que nosaltres hem escollit és la metodologia àgil <sup>6</sup>, que es caracteritza per iteracions curtes i transversals. El feedback del client es rep després de cada iteració i s'incorpora al desenvolupament de l'aplicació.

En el desenvolupament del TFG, el feedback s'obté de les reunions periòdiques. Tot això ens permet ajustar els objectius, rectificar errors i mantenir reunions periòdiques amb les directores del TFG, que donen la seva visió sobre l'aplicació i validen el treball fet. El que ens dona un mètode de validació iteratiu que no seria possible amb altre metodologia de treball. Això ha estat especialment cert en les metàfores d'interacció que s'han anat provant i modificant al comprovar la percepció del usuaris i la usabilitat.

---

<sup>4</sup><https://www.unrealengine.com/>

<sup>5</sup><https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/framework/network-programming/>

<sup>6</sup><https://www.agilealliance.org/agile101/> - Web de la Agile Aliance, organització que es dedica a recolzar i promoure aquest mètode de desenvolupament de software



## Capítol 5

# Tècniques d'interacció

En el capítol 3 parlavem dels diferents aspectes importants d'una aplicació de realitat virtual. També vam avançar que la interactivitat és l'aspecte més important per nosaltres. Un tema important en la investigació sobre interfícies 3D és el disseny de tècniques d'interacció 3D. Una tècnica d'interacció és el mètode que s'utilitza per aconseguir una tasca determinada mitjançant la interfície. En quant a les diferents tasques que es poden produir en un sistema 3D, Bowman [6] diferencia entre 4 tipus, que ell anomena *tasques 3D universals*:

- La **navegació**, que és el moviment en l'entorn. Dins d'aquesta tasca cauen conceptes com el teletransport o trobar el camí correcte.
- La **selecció** i la **manipulació** d'objectes. La selecció permet distingir un objecte d'entre la resta i la manipulació comprèn la rotació i posició d'objectes.
- El **control del sistema**. És la forma en que s'envien comandes al sistema, per exemple per canviar de mode o un paràmetre de l'aplicació.
- La **entrada de símbols**. Té a veure amb la manera en que l'usuari pot comunicar informació al sistema. Per exemple, introduint un text o fent un dibuix.

D'entre aquestes tasques la menys present en estudis d'investigació és la d'entrada de símbols. A més, és difícil implementar i dissenyar tècniques per resoldre aquesta tasca [6]. Un exemple de la dificultat és la entrada de text en sistemes immersius. Com que el usuari no veu el seu entorn, no pot utilitzar un teclat i la tasca es torna ineficient.

Mine [26] va donar una classificació de les diferents tècniques que es poden emprar per resoldre aquestes tasques.



- **Interacció directa de l'usuari.** Es correspon a les accions de l'usuari que tenen una repercussió directa en el món virtual. Monitoritzar el moviment del HMD o dels comandaments n'és un exemple.
- **Controls físics.** Controls que existeixen en el món físic. Botons, palanques, joysticks o els propis comandaments en són un exemple. L'avantatge que tenen els controls físics es que donen més presència a l'usuari en el món virtual i donen un major control en la interacció d'una tasca. Però tenen el desavantatge de que la correspondència entre acció i reacció de vegades no és natural i que poden ser difícils de localitzar amb un HMD.
- **Controls virtuals.** La gran majoria de controls poden ser virtuals. La gran flexibilitat que ofereixen és el principal avantatge d'aquests. El principal desavantatge és que no tenen una retroalimentació hàptica que sí que tenen els controls físics.

En les següents seccions descriurem les diferents tasques d'un sistema immersiu, les tècniques que s'acostumen a utilitzar per resoldre-les i les tècniques que hem escollit nosaltres. Tot això en el marc de les classificacions mencionades anteriorment.

## 5.1 Navegació

D'entre totes les tasques la navegació és sovint una tasca secundària. Les tasques més importants acostumen a ser les de selecció i manipulació d'objectes. Per tant, és necessari que la navegació de l'usuari pel món virtual sigui fluida i intuïtiva. Segons Bowman [6], la navegació es pot dividir entre el **moviment** i la **cerca de camins**.

### Moviment

El moviment és el conjunt d'accions que l'usuari fa per canviar la seva posició i rotació en el món virtual. Hi ha diverses classificacions per classificar les tècniques que s'utilitzen per resoldre aquesta tasca. Per exemple, Bowman et al. [1] van establir una classificació cronològica de les tècniques utilitzades per a que l'usuari arribi al seu objectiu. Aquesta classificació comprèn l'inici del moviment, com s'indica la posició o la rotació i el final del moviment (veure figura 5.1).

Aquest tipus de tècniques són necessàries quant el desplaçament de l'usuari en el món virtual és complex. No obstant, la forma més simple de resoldre el moviment de l'usuari és utilitzar la interacció directa amb l'usuari. Per exemple, quan l'usuari camina en el món real, això es correspon a un moviment en el món virtual. La interacció directa permet que l'usuari no hagi de fer cap acció especial [26]. A més, caminar físicament dona més simplicitat i naturalitat com a mètode de locomoció comparat amb caminar en el lloc o volar virtualment [27].

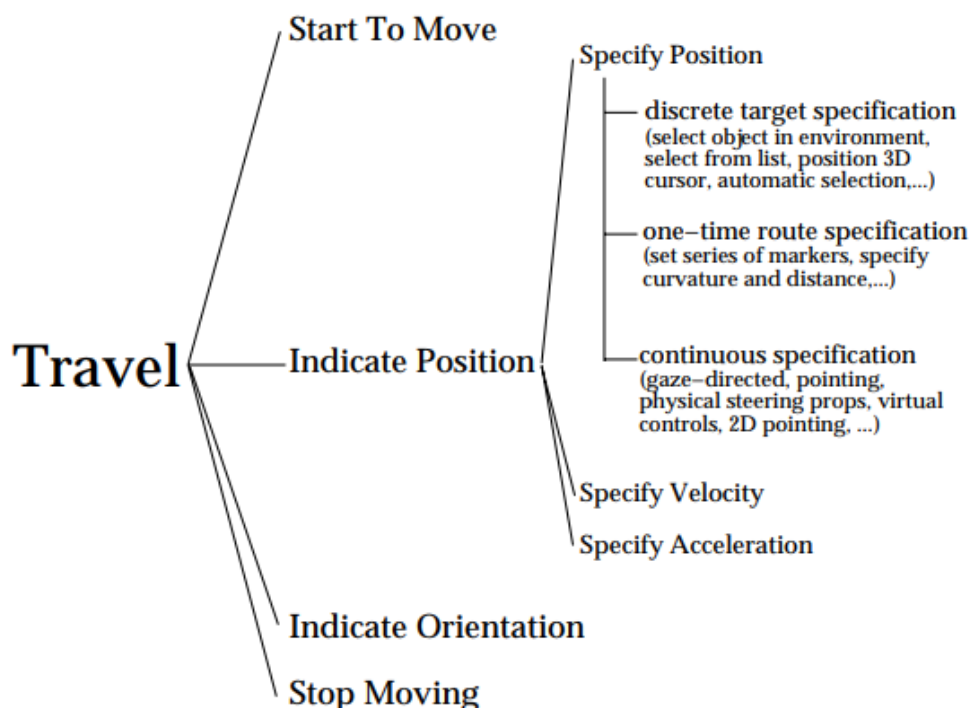


Figura 5.1: Una taxonomia de les tècniques emprades per resoldre el problema del moviment, extret de [1].

Un problema que sorgeix si l'usuari camina en el món real és la possibilitat de que existeixin col·lisions amb el món físic. És a dir, l'usuari pot xocar amb l'espai fixe que l'envolta. Un mètode que s'utilitza habitualment per evitar aquesta situació és renderitzar una barrera en el món virtual on existeixi perill de col·lisió [28].

En el nostre cas, per resoldre el problema de la navegació utilitzarem la interacció directa que proporciona el propi sistema de *HTC Vive*. Hi ha dues bases que monitoritzen la posició i rotació del HMD en tot moment i transfereixen aquesta informació a un ordinador. D'aquesta forma, la posició i rotació de l'usuari es reflecteix de forma directa en el món virtual (veure figura 5.2).

A més, per evitar col·lisions amb el món real, utilitzem el propi *Chaperone* de SteamVR<sup>1</sup> que projecta una barrera en cas de que l'usuari s'apropi molt als límits de l'habitació (veure figura 5.3<sup>2</sup>).

<sup>1</sup><https://xinreality.com/wiki/Chaperone>

<sup>2</sup>Extreta de <https://www.cnet.com/news/hack-a-vr-system-lead-a-player-astray-yes-say-researchers/>

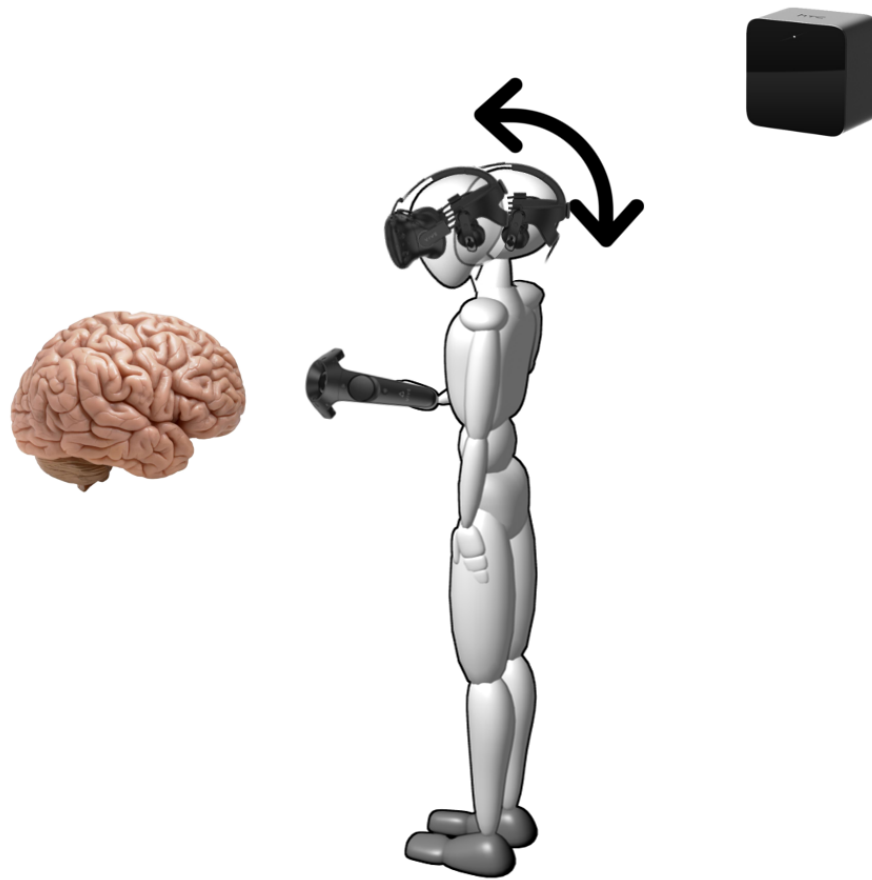


Figura 5.2: Esquema de la disposició física de l'usuari i una base per monitoritzar el moviment de l'usuari.

Per últim, existeix la possibilitat de col·lisions amb altres usuaris, ja que es disposen en el mateix espai físic. Per resoldre aquest problema, es dibuixaran uns avatars en les posicions reals dels *head mounted displays* dels usuaris. D'aquesta forma, els usuaris en tot moment poden saber on estan els altres usuaris i d'aquesta manera evitar les col·lisions (veure imatge 5.4).

#### **Altres aspectes sobre la navegació**

Anteriorment hem mencionat la cerca de camins com un aspecte important de la navegació [6]. Quan els entorns virtuals són complexes amb tècniques de navegació més sofis-



Figura 5.3: Superposició de la barrera del sistema de *Chaperone* de SteamVR dins del món real.

ticades que la interacció directa, és possible que l'usuari es desorienti. En aquests casos, és necessari introduir tècniques per trobar el camí correcte cap a l'objectiu o simplement per millorar la orientació de l'usuari. En el nostre cas, aquest problema no existeix per tant no és necessari parlar de les tècniques utilitzades.

Finalment, un punt important quan s'utilitzen sistemes de realitat virtual immersius on l'usuari es mou d'alguna forma és l'anomenada *cybersickness*. És un mareig que es presenta quan l'usuari es troba de forma estacionària però percep moviment únicament de forma visual. Existeixen teories sobre les causes [29], però de moment no hi ha solucions al problema. En aquest projecte no s'han observat fenòmens d'aquest tipus, probablement degut a que el moviment és directe i natural.

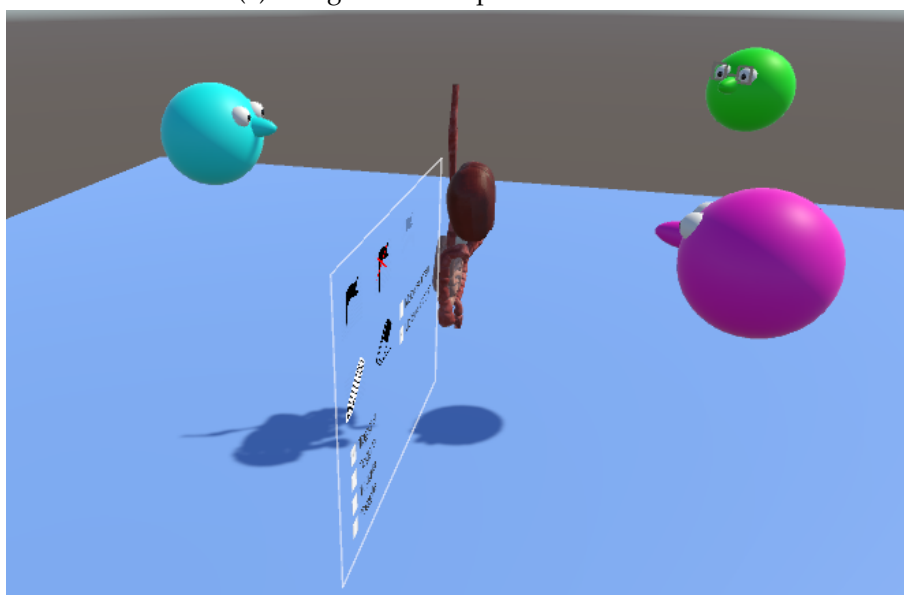
## 5.2 Manipulació d'objectes

Potser una de les tasques més importants per entorns virtuals és la de manipular objectes. És una tasca bàsica de la que depenen altres tasques. Es pot classificar en les següents subtasques:

- La **selecció**. S'utilitza per diferenciar un objecte d'entre el conjunt total d'objectes



(a) Fotografia de l'espai físic de la sala



(b) Instantània de l'aplicació

Figura 5.4: Fotografia de l'espai físic i instantània de l'aplicació en un moment determinat.

disponibles.

- La **translació**. És a dir, moure un objecte des d'una posició tridimensional a una altra.
- La **rotació**. Per canviar l'angle d'orientació d'un objecte respecte dels seus eixos.
- L'**escalat**. Per deformar l'objecte preservant proporcions en els diferents eixos.

Bowman et al. [6] només distingeixen les tres primeres tasques mentre que Mine [26] inclou l'escalat com a tasca bàsica. Bowman et al. argumenten que normalment per escalar s'ha d'utilitzar algun tipus de *handles* que s'han de seleccionar i manipular i per tant són una combinació de les altres tasques. En el nostre projecte no hi ha escalat per tant no explicarem les tècniques d'escalat que hi ha.

Per completar tasques de manipulació és important que els comandaments d'entrada permetin el màxim nombre de graus de llibertat possible, sis (veure figura 5.5<sup>3</sup>). D'aquesta forma la manipulació dels objectes és natural i la correspondència entre accions de l'usuari i el món virtual és directa.

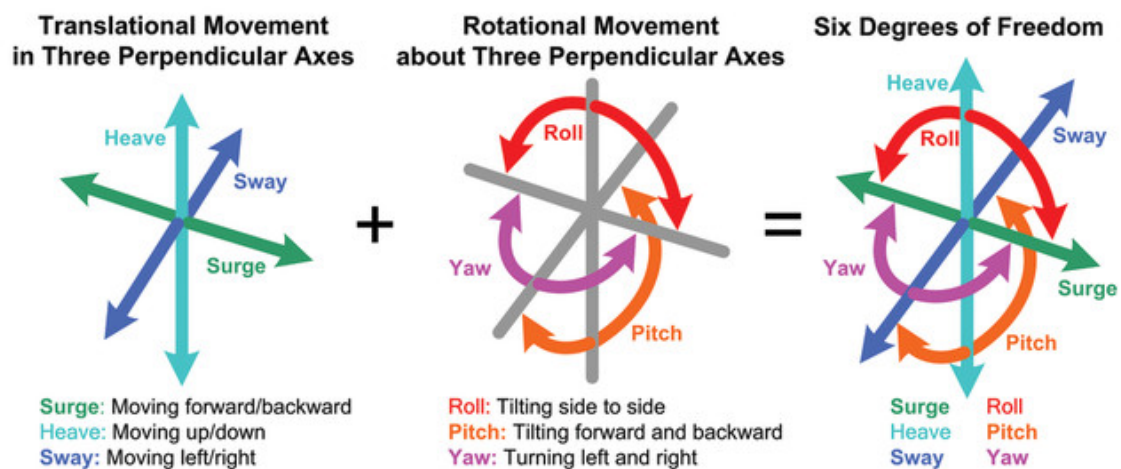


Figura 5.5: Sis graus de llibertat, tres de translació i tres de rotació.

## Selecció

<sup>3</sup>Extreta de <http://www.leadingones.com/articles/intro-to-vr-4.html>

Hi ha una forma senzilla de seleccionar objectes, amb la metàfora de la mà virtual [30]. Es renderitza una mà virtual que es mou amb la mà física de l'usuari. Llavors, l'objecte que toqui la mà virtual és el seleccionat. L'inconvenient principal de la tècnica és que els objectes remots no es poden seleccionar. Per solucionar aquest problema, existeixen dos tipus de tècniques: les anomenades *Arm-extension techniques* i les tècniques de *ray casting* [30] [31]. Les tècniques "d'extensió de braç" el que fan és canviar el mapeig entre la extensió real de la mà i la extensió virtual a una funció diferent de la identitat. Per exemple, la tècnica Go-Go [32] és una d'elles. El que fa és tornar la funció no lineal a partir d'una certa distància (veure figura 5.6).

A més de les tècniques d'extensió de braç, hi ha una varietat de tècniques de punters virtuals. Basada en la tècnica de *raycasting* introduïda per Roth [33], es llença un raig en la direcció del punter virtual i l'objecte seleccionat és el que xoca amb el raig.

En l'avaluació de Poupyrev et al. [30] cap dels dos tipus de tècniques és declarat superior. No obstant, Bowman et al. en [2], no només proposen un sistema general per avaluar tècniques d'interacció sinó que noten que els usuaris van trobar la selecció amb *raycasting* més fàcil.

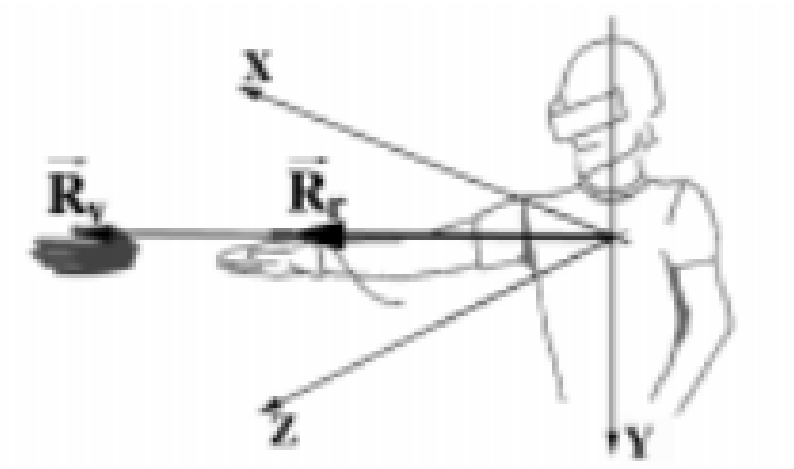
En aquest projecte, la tècnica que hem utilitzat per resoldre la tasca de selecció és la del punter virtual (veure figura 5.7). Aquest punter és present en tot moment. El motiu principal pel que s'ha escollit aquest mètode és perquè els menús de traspàs d'informació i de punt de vista estan a sobre de l'avatar dels altres usuaris (veure secció 5.3.2). Si s'hagués utilitzat una metàfora de la mà virtual s'hauria d'anar a la posició física de l'usuari i això pot portar a col·lisions. A més, una mà no permet detectar col·lisions de forma fina amb el model, necessàries per posar informació simbòlica (veure secció 5.4).

### Translació i rotació

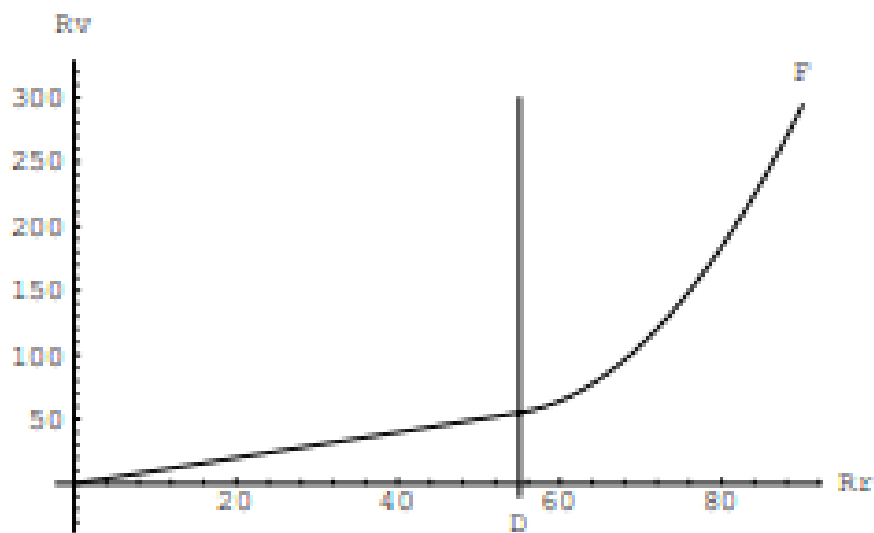
Habitualment, la translació i rotació d'objectes comprenen les mateixes subtasques. És per això que Bowman et al. [2] introdueixen una taxonomia de tècniques (veure figura 5.8) on translació i rotació estan sota el mateix terme, manipulació.

Les tècniques de manipulació ocorren després de les tècniques de selecció, ja que és necessari distingir un objecte per manipular-lo. Per exemple, en la metàfora de la mà virtual, l'objecte s'enganxa a la mà i la rotació i posició de l'objecte estan lligades a les de la mà. També es possible enganxar l'objecte al punter virtual de la mateixa forma. En l'article on Bowman et al. [2] introdueixen la taxonomia de tasques de manipulació també van trobar que els usuaris declaraven la metàfora de la mà com la millor per manipular i la del punter virtual com la millor per seleccionar. És per això que proposen una fusió de les dues tècniques en una nova tècnica anomenada *HOMER* (Hand-centered Object Manipulation Extending Ray-Casting) en la que l'objecte se selecciona amb el punter virtual però per manipular la mà viatja on està l'objecte i s'enganxa.

Hi ha una segona forma de classificar les tècniques de manipulació: tècniques *egocèntriques*



(a) Tècnica Go-Go, la posició real de la mà ve donada pel vector  $R_r$  i la virtual pel vector  $R_v$ . Extreta de [32]



(b) Mapeig entre els vectors  $R_v$  i  $R_r$ . A partir d'una certa distància es torna no lineal. Extreta de [32]

Figura 5.6: Tècnica Go-Go

i tècniques *exocèntriques* [30]. Totes les tècniques que hem mencionat fins ara són tècniques *egocèntriques*, en les que l'usuari interacciona amb el món des de dins de l'entorn. Ara bé, existeixen tècniques *exocèntriques* on on les que l'usuari té una visió global i interacciona des de l'exterior.



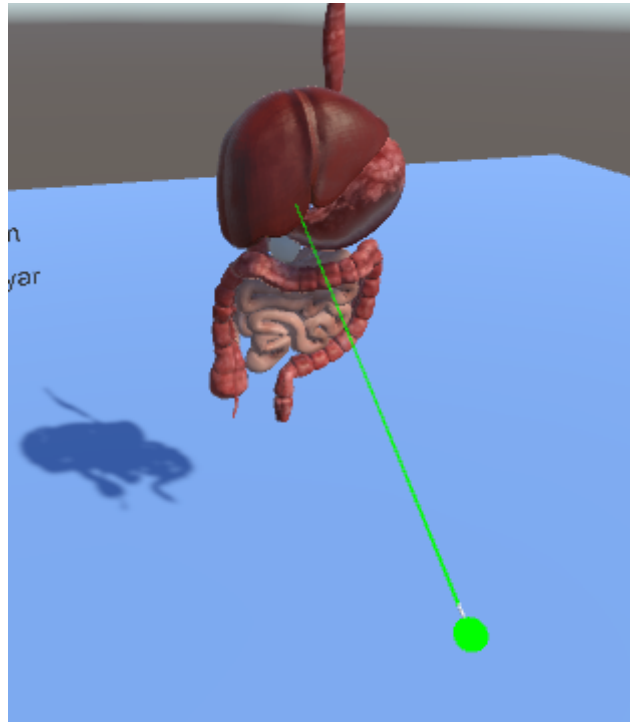


Figura 5.7: Retall de l'aplicació on es mostra el punter virtual, que apareix com un làser per seleccionar a distància.

En el nostre cas, per manipular el model anatòmic utilitzem una metàfora de la ma virtual (veure figura 5.9). No és necessari implementar cap mètode especial com el *HOMER* perquè els usuaris estan suficientment a prop del model com per agafar-lo amb el comandament i manipular-lo com vulguin.

### 5.3 Control del sistema

Com ja hem mencionat a la introducció d'aquest capítol, una de les tasques universals de qualsevol sistema 3D és el control del sistema. Per assolir aquesta tasca, el procediment habitual en sistemes 2D és l'ús d'interfícies gràfiques o *graphic user interfaces* (GUIs). No obstant, en interfícies 3D hi ha diferents formes en que una GUI es pot mostrar. Kim et al. [3] donen tres tipus d'interfície segons el lloc on es mostren (veure figura 5.10):

- **Fixes en el món.** Quan la interfície està en un lloc determinat del món virtual. Per interactuar amb elles cal utilitzar alguna tècnica de navegació.

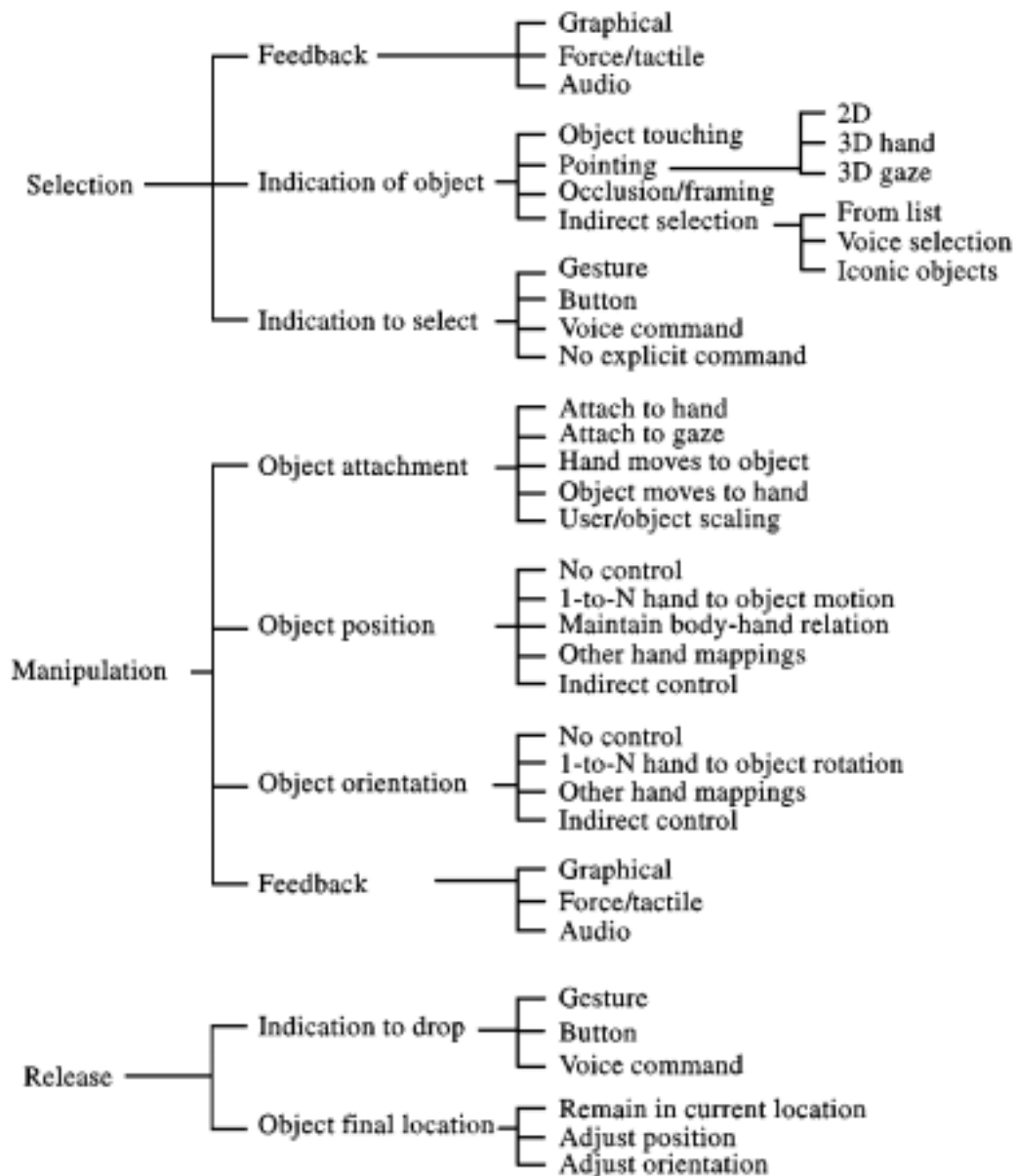


Figura 5.8: Una taxonomia de tècniques de selecció i manipulació. Extreta de [2].

- **Fixes en la vista de l'usuari.** Per interfícies que es mouen amb l'usuari i es troben sempre a una determinada distància.
- **Fixes en objectes.** Per interfícies ancorades a objectes del món virtual.

En el nostre cas, tenim dos tipus d'interfícies. Tenim una interfície que pertany a un

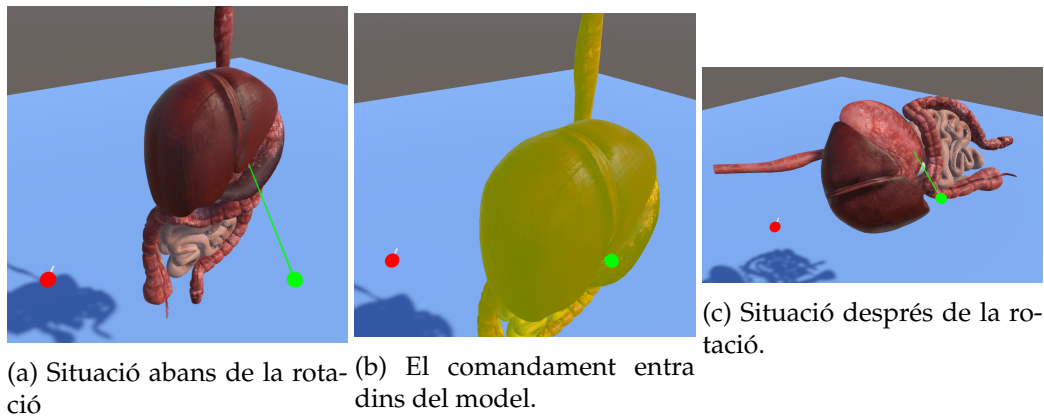


Figura 5.9: Seqüència d'instantànies de l'aplicació quan un usuari està rotant el mdoel.

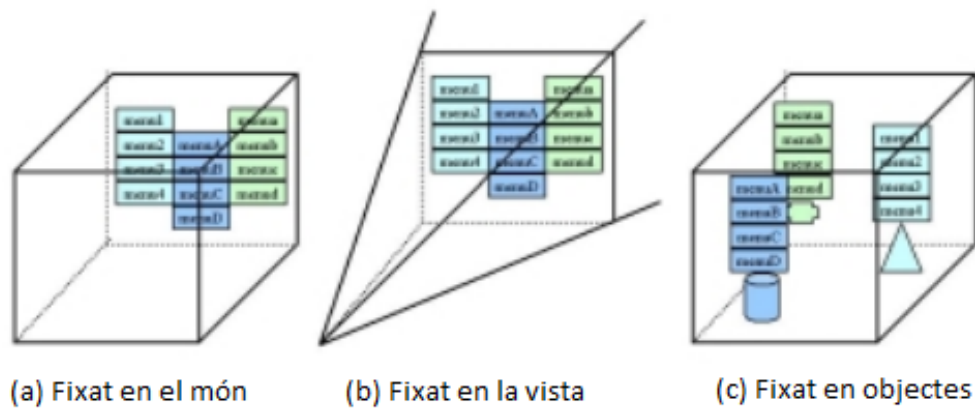


Figura 5.10: Classificació de les formes de mostrar una GUI en entorns 3D. Extreta de [3]

objecte, que es correspon al menú d'accions que es poden fer relacionades amb un usuari concret, i tenim una interfície corresponent al menú principal que inicialment es troba en una posició determinada del món, però que es pot manipular posteriorment.

### 5.3.1 Menú principal

El menú principal de l'aplicació (veure figura 5.11) implementa diverses funcionalitats. La interfície es compon de diferents botons que es comporten com un *toggle*, és a dir que tenen dos estats, activat o desactivat. Les funcionalitats que ofereix el menú són:

- Canviar el resultat de prémer el *trigger* del comandament (veure figura 5.12). Els

quatre botons amb imatges a l'esquerra del menú (excepte el de la bandera semitransparent) es corresponen a els quatre modes de comportament del *trigger*. Només pot estar actiu un alhora i per activar-los només s'han d'apuntar amb el làser i prémer el *trigger*. En les següents seccions parlarem dels diferents modes que hi ha per interactuar amb el model i introduir informació.

- Canviar el mode de l'aplicació. Com es pot veure en la figura 5.11, el menú conté dos modes, el mode examen i el mode ensenyament, que es corresponen als de la secció 3.2. Només pot estar actiu un alhora i per activar-los només s'han d'apuntar amb el làser i prémer el *trigger*. Més endavant parlarem una mica de les diferències entre els dos modes.
- Canviar el tipus de text que es mostrarà quan s'introdueix una bandera. Els diferents botons de la part inferior esquerra del menú (figura 5.11) escullen aquest text. Només pot estar actiu un alhora i per activar-los només s'han d'apuntar amb el làser i prémer el *trigger*. Aquesta decisió funcional s'explicarà amb més profunditat en la secció 5.4.

### Afegir i eliminar banderes

Les banderes són anotacions similars a les d'un atlas anatòmic, on hi ha una línia que connecta un punt del model amb una etiqueta que conté un text (veure figura 5.13).

Per motius de visibilitat, les banderes s'orienten sempre mirant cap a l'usuari. A més, per poder distingir una bandera d'un usuari d'una d'un altre usuari cada bandera té el color de l'usuari que l'ha introduït. Per afegir banderes, només cal seleccionar el botó amb el símbol d'una bandera i una de les quatre opcions de text a afegir. Després, s'apunta amb el làser a un punt del model, es prem el *trigger* i s'afegirà una bandera amb el text escollit en el punt d'intersecció entre el raig i el model. La interacció completa es pot veure en la figura 5.14.

Per poder eliminar banderes, s'ha de seleccionar el botó amb el símbol d'una bandera guixada. A continuació s'apunta el làser a qualsevol anotació introduïda prèviament i es prem el *trigger*. Cal mencionar que només es poden esborrar etiquetes introduïdes pel propi usuari. A la figura 5.15 es pot observar la interacció.

El botó amb la bandera semitransparent oculta totes les banderes quan es prem. Quan es torna a prémer, les banderes tornen a aparèixer. Està pensat per donar més visibilitat al model quan sigui necessari.

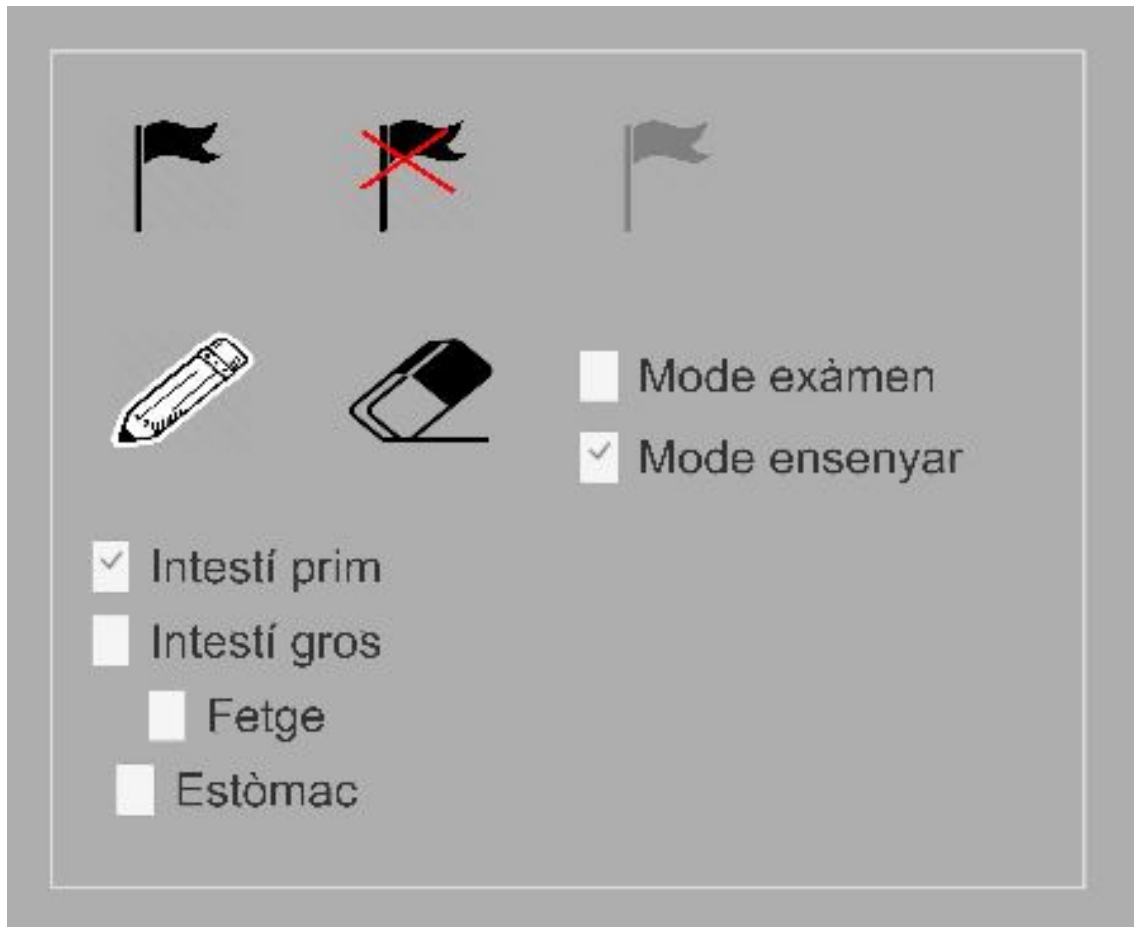


Figura 5.11: Instantània del menú principal en l'aplicació

### Dibuixar i esborrar dibuixos

Els dibuixos són un conjunt d'esferes unides que pretenen assenyalar una zona d'interès en el model. Si se selecciona el botó amb el llapis dibuixat el punter està en mode dibuix. En el mode dibuix, quan es prem el *trigger*, es comencen a dibuixar petites esferes en el model i quan es deixa de prémer es deixen de dibuixar (veure figura 5.16).

Per esborrar dibuixos, el procés es similar al d'esborrar banderes. Simplement s'ha de seleccionar el botó amb la goma d'esborrar, apuntar amb el làser a alguna de les esferes i s'esborra el dibuix corresponent a l'esfera (veure figura 5.17). El mètode ideal seria poder esborrar dibuixos seleccionant la zona interior del dibuix. Però donada la manca de temps i la dificultat de la implementació aquest mètode es va desestimar.

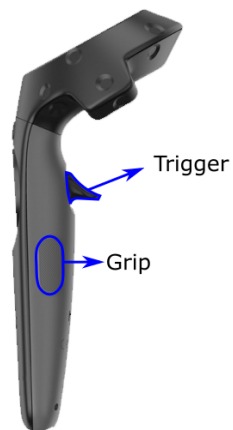


Figura 5.12: Esquema del comandament del *HTC Vive* amb el trigger assenyalat.

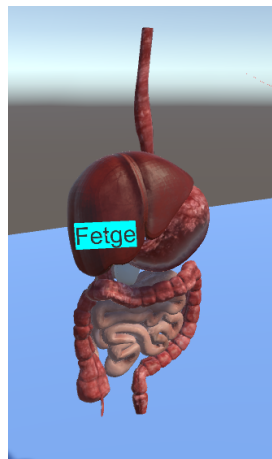
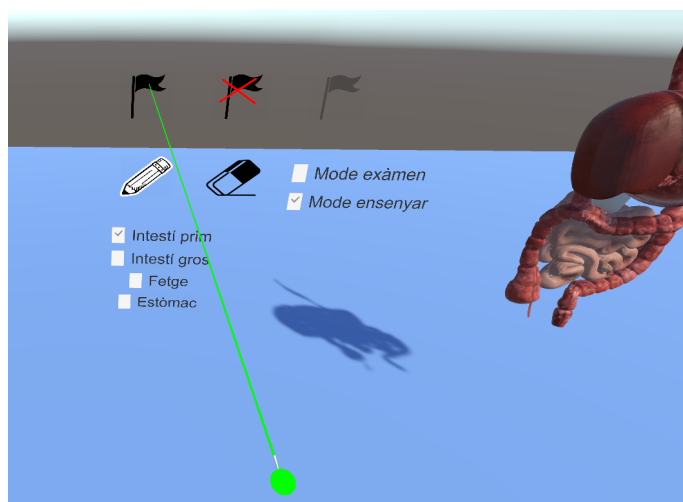


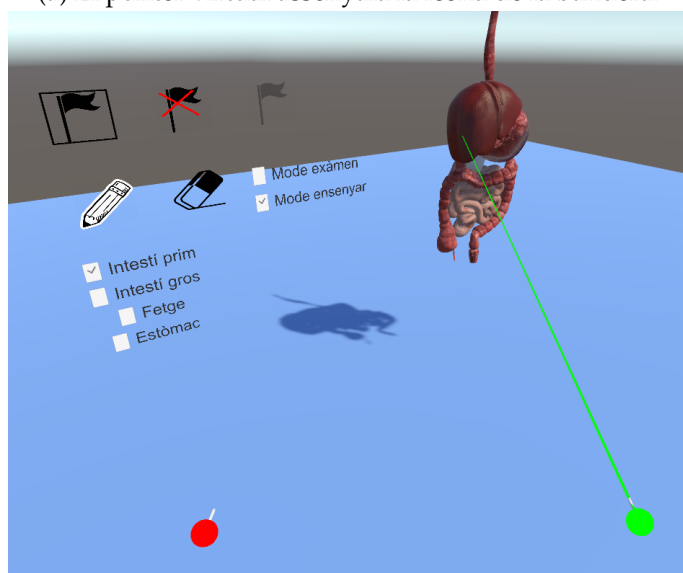
Figura 5.13: Instantània del model amb una bandera introduïda

### Modes de l'aplicació

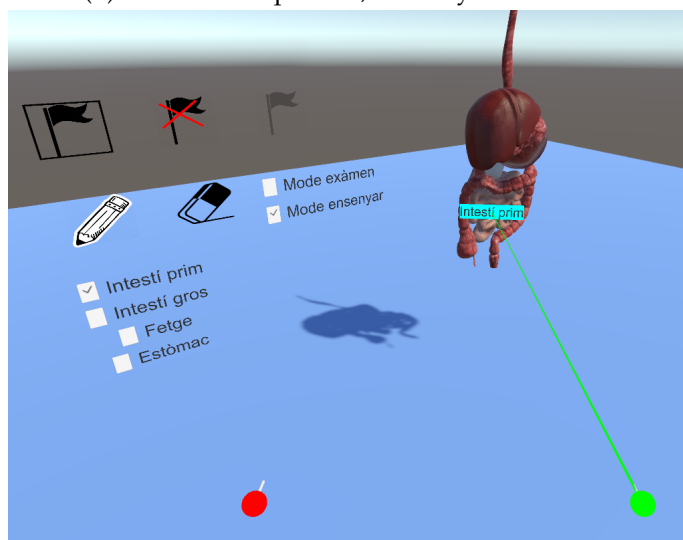
Els dos botons per canviar de mode d'aplicació (veure figura 5.11) només estan disponibles en el menú del professor. En qualsevol moment, el professor pot canviar de mode. El professor sempre té un menú principal, mentre que els alumnes només el tenen en el mode examen. A més, el menú del professor (explicat en la secció 5.3.2 només està disponible pels alumnes en el mode ensenyament. En canvi, el professor només té disponible el menú dels alumnes (també explicat en la secció 5.3.2 en el mode examen).



(a) El punter virtual assenyalava la icona de la bandera.

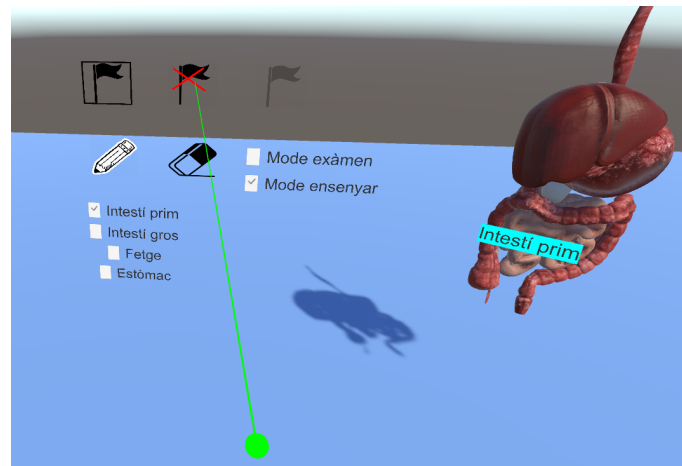


(b) Amb el botó premut, s'assenyalava el model

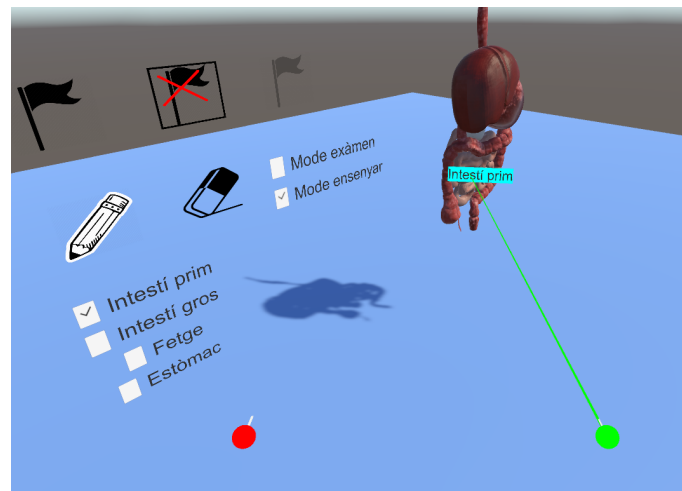


(c) Una bandera nova s'ha introduït

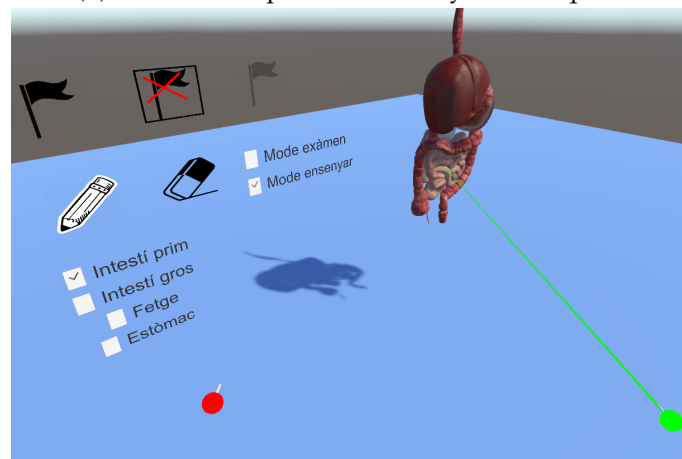
Figura 5.14: Seqüència d'instantànies de l'aplicació quan un usuari introdueix una bandera



(a) El punter virtual assenjala la icona de la etiqueta guiada.



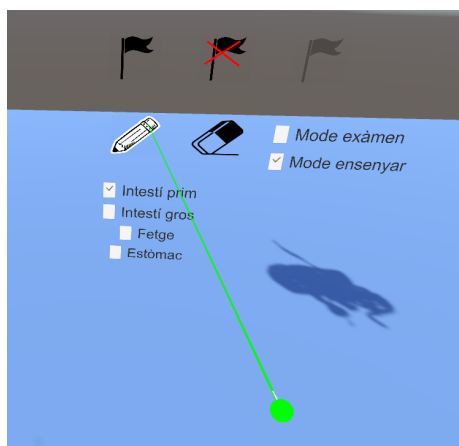
(b) Amb el botó premut, s'assenjala la etiqueta



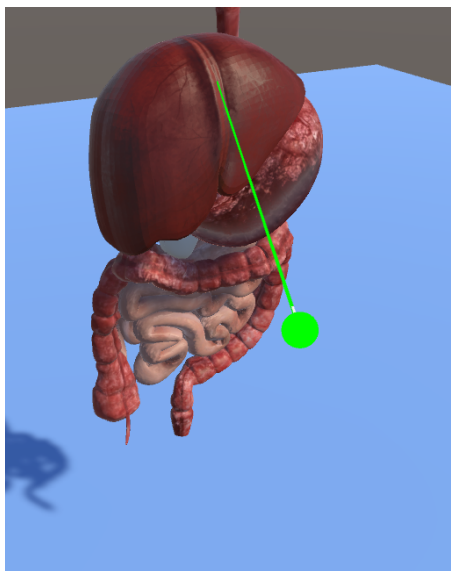
(c) S'ha esborrat la etiqueta

Figura 5.15: Seqüència d'instantànies de l'aplicació quan un usuari introdueix una bandera

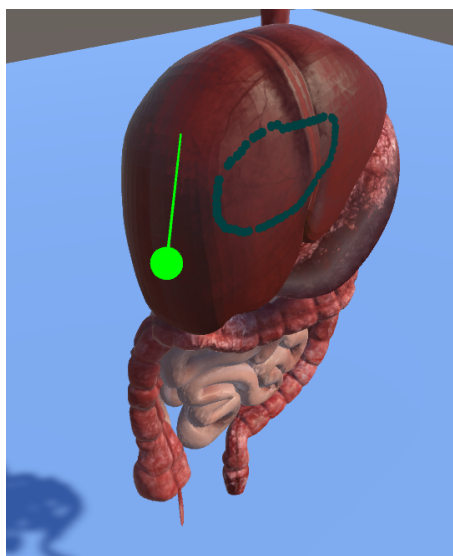




(a) El punter virtual assenyala la icona del llapis.

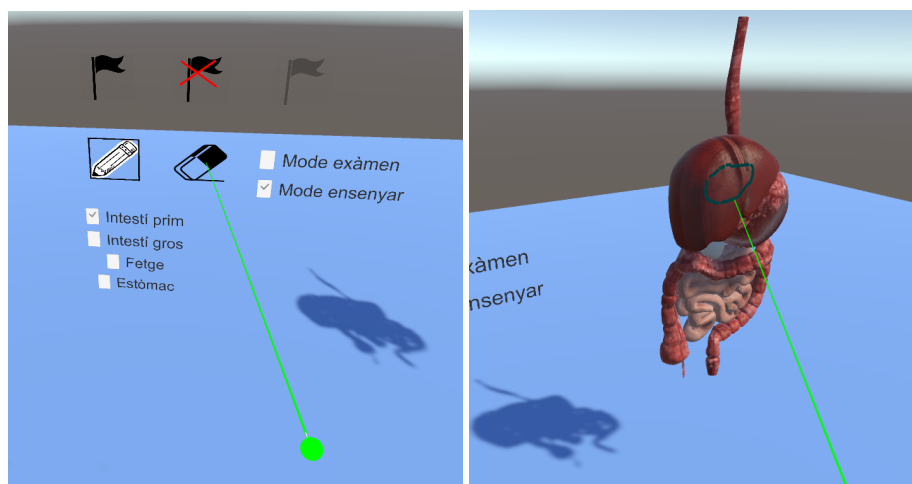


(b) El punter virtual assenyala al model.

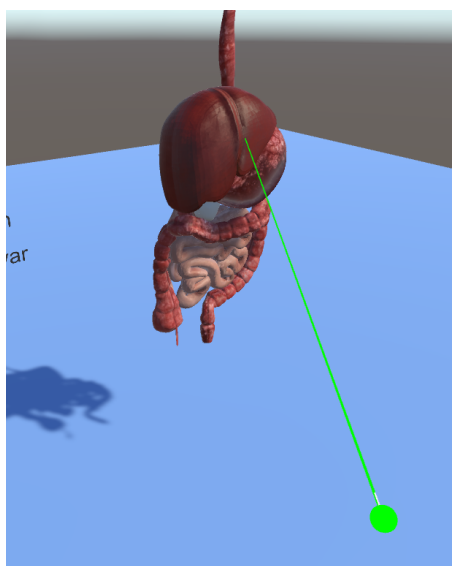


(c) Mentre s'apreti el trigger, es va dibuixant.

Figura 5.16: Seqüència d'instantànies de l'aplicació quan un usuari dibuixa



(a) El punter virtual assenyala la icona de la goma d'esborrar. (b) El punter virtual assenyala al dibuix.



(c) Apretant el trigger, s'esborra el dibuix

Figura 5.17: Seqüència d'instantànies de l'aplicació quan un usuari esborra un dibuix

### 5.3.2 Menú usuaris

Els usuaris tenen un menú específic situat a sobre del seu avatar (veure figura 5.18). Aquest menú pretén implementar les funcionalitats de rotar el model per veure'l des del punt de vista de l'usuari propietari del menú, obtenir la informació del propietari del menú i, en el cas del professor i en el mode examen, escollir si l'usuari propietari veu una esfera on el professor apunti.

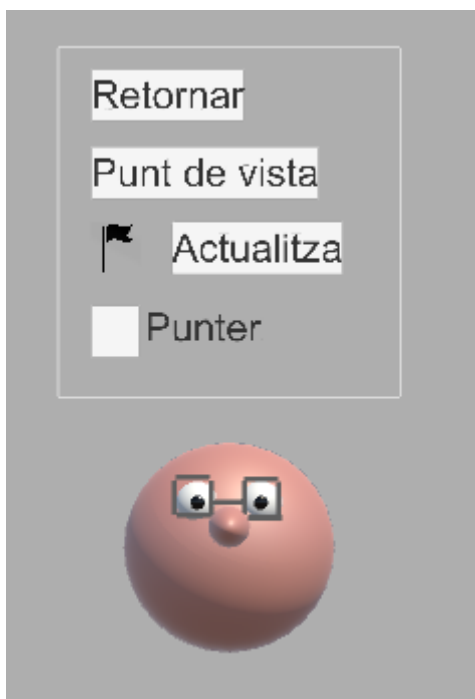
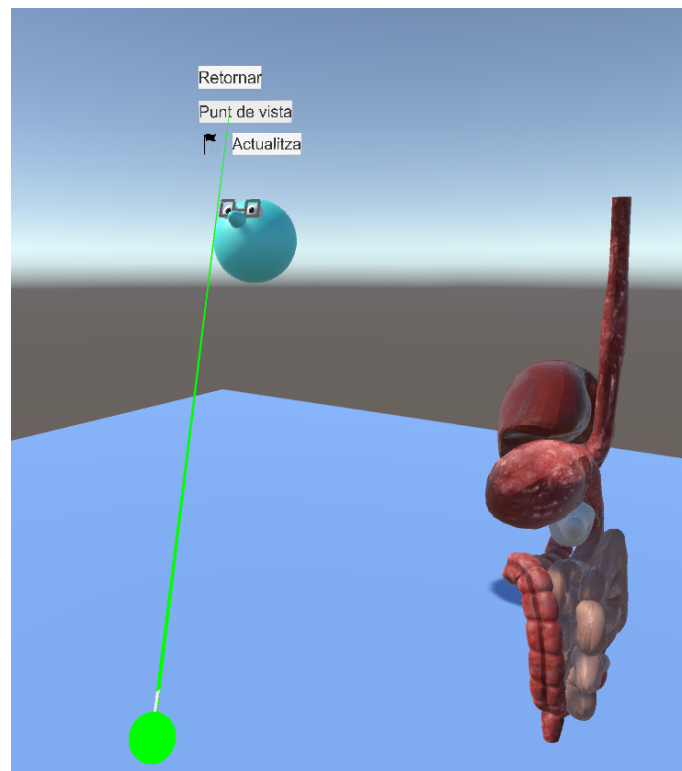


Figura 5.18: Menú que tenen els usuaris a sobre del seu avatar.

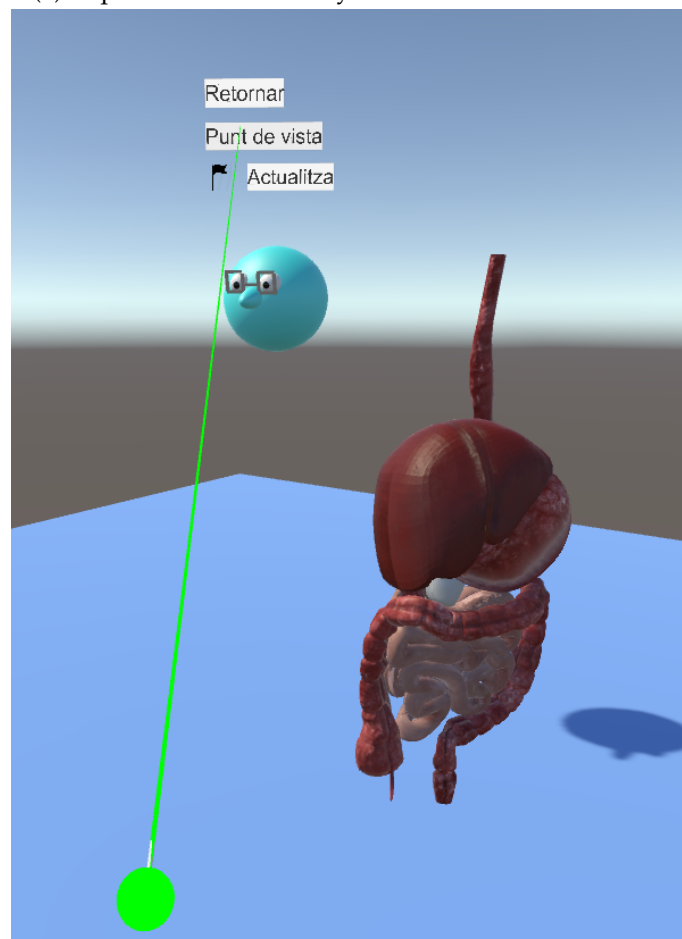
Per agafar el punt de vista, només cal apuntar amb el làser al botó de "Obtenir punt de vista" i prémer el *trigger* (veure figura 5.19). Aquest botó es pot prémer tantes vegades com es vulgui i s'anirà actualitzant el punt de vista. Per retornar al punt de vista inicial només cal prémer el botó "Retornar".

Per transmetre les banderes i dibuixos de l'usuari propietari del menú al model s'ha de prémer el botó amb una bandera (veure figura 5.20). Aquest botó pot estar activat i desactivat, fent que la informació de l'usuari aparegui o desaparegui. Per actualitzar la informació no cal prémer el botó de la bandera dues vegades sinó que només cal prémer el botó d'actualitzar.

Per últim, el professor en el mode examen pot escollir prémer el botó de "Punter". Aquest botó pot estar activat i desactivat. Quan està activat, l'usuari propietari del botó veurà una esfera on el professor apunti i quan estigui desactivat, deixarà de veure-la (veure

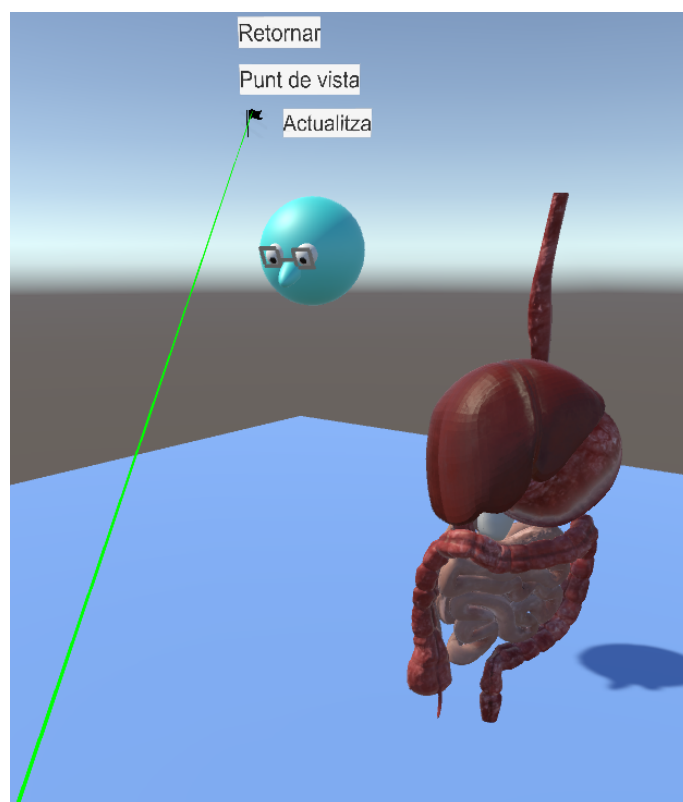


(a) El punter virtual assenyalava al botó de Punt de Vista

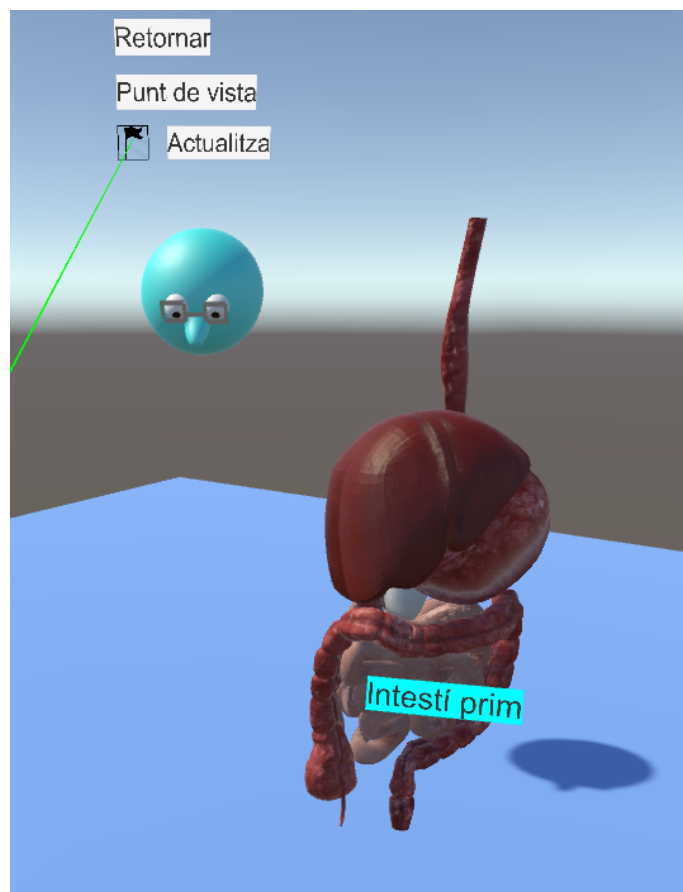


(b) Després de prémer el botó, s'obté el punt de vista de l'usuari

Figura 5.19: Seqüència d'instantànies de l'aplicació quan un usuari agafa el punt de vista d'un altre usuari



(a) El punter virtual assenyala al botó amb forma de bandera



(b) Després de prémer el botó, s'obté la informació de l'usuari

Figura 5.20: Seqüència d'instantànies de l'aplicació quan un usuari demana la informació d'un altre usuari

figura 5.21).



Figura 5.21: Figura on es mostra la boleta negra que surt quan el professor assenyala.

## 5.4 Entrada de símbols

La entrada de símbols és una de les tasques universals descrites per Bowman et al. [6] i té com a objectiu afegir informació al món virtual per part de l'usuari. Hi han diverses tècniques per resoldre aquest problema, d'entre les que destaquem l'ús de les etiquetes i els dibuixos basats en un bolígraf virtual.

Les etiquetes són una forma de lligar el *domini espacial* i el *domini simbòlic* (veure secció 2.3) i, per tant, proporcionar més informació a un objecte de forma textual. El procediment habitual per introduir text en l'ordinador és el teclat, però en un sistema immersiu aquest procediment és impossible donada la manca de superfícies on posar el teclat, el moviment de l'usuari i la manca de visió de l'entorn.

Existeixen tècniques per introduir etiquetes automàticament com *Zoom Illustrator* [13] o

aquest article per Madsen et al. [34] però no són tècniques que utilitzarem en el nostre projecte donada la complexitat de les mateixes. Tot i així segueix existint el problema de crear etiquetes, que en el nostre cas el resollem tenint les etiquetes predefinides.

## Capítol 6

# Usabilitat

La usabilitat és un factor molt important en la interacció humà-màquina. Segons l'estàndard ISO 9241-11:1998 [35], en la secció 3 la usabilitat es defineix com:

“La mesura en la que un producte pot ser utilitzat per usuaris específics per aconseguir objectius específics amb efectivitat, eficiència i satisfacció en un context d'ús específic”.

Per mesurar la usabilitat d'un producte, l'estàndard també especifica [36] que és necessari tenir una descripció dels objectius, una descripció del context d'ús i mesures objectiu d'efectivitat, eficiència i satisfacció dins d'aquest context.

Donat que aquest projecte es centra primàriament en la interactivitat de l'aplicació i que la usabilitat és un dels objectius primaris d'una aplicació interactiva, es va conduir un test d'usuari intentant seguir aquestes directrius. En les següents seccions descriurem el test conduït, els resultats obtinguts i comentaris sobre els mateixos.

### 6.1 Test d'usuari

Com ja es va mencionar a la secció 3.1, el test d'usuari no pretén comparar diferents sistemes de realitat virtual per ensenyar anatomia, però sí que es va demanar als usuaris si havien utilitzat un sistema similar de realitat virtual semi-immersiva [20] del grup de recerca ViRVIG<sup>1</sup>. El motiu és per veure si hi ha una diferència de usabilitat entre usuaris amb experiències similars o no. El nombre de persones que van realitzar el test és cinc,

---

<sup>1</sup><https://www.virvig.eu/>



d'entre els quals tres persones havien utilitzat el projecte del grup ViRVIG [20]. També es va preguntar si els usuaris havien utilitzat algun sistema de realitat virtual immersiva alguna vegada. Quatre usuaris van respondre "sovint" i un usuari va respondre "alguna vegada".

El test d'usuari va consistir en dues iteracions amb tres usuaris cada iteració. Un usuari feia de professor i els altres dos d'alumnes. En la primera iteració hi havia un alumne i un professor que havien utilitzat el sistema mencionat anteriorment i en la segona iteració només un alumne. Cada iteració ha consistit en els següents passos:

1. Explicació del context de l'aplicació, explicant totes les funcionalitats detallades al capítol 5
2. Explicació dels objectius del test.
  - (a) Primerament, en el mode ensenyament el professor introdueix tres dibuixos diferents en el model en tres parts predefinides. A mesura que els va dibuixant, avisa als usuaris per a que aquests els observin. Els usuaris tenen llibertat per rotar el model per veure el punt de vista del professor o no.
  - (b) En el segon experiment, també en el mode ensenyament el professor introdueix dues banderes en dos llocs predefinits, escollint cada cop un botó de text diferent. Els usuaris han d'observar les banderes. Per observar la primera no poden agafar el punt de vista i per la segona ho han de fer.
  - (c) Després, en el mode examen, el professor demana als estudiants que dibuixin en una zona de les que el professor ha mostrat en el primer experiment. Cada estudiant dibuixa una zona diferent. El professor ha de comprovar que els dibuixos siguin correctes i en algun moment ha de tenir els dos dibuixos alhora en el model.
  - (d) Per últim, en el mode examen, el professor demana als estudiants que introdueixin una bandera d'entre les que el professor ha mencionat prèviament. Després, el professor ha de comprovar que la posició de les banderes sigui correcta. Per veure la primera bandera ha d'agafar el punt de vista i per la segona no.
3. Respondre a un qüestionari que pretén avaluar la usabilitat de les interaccions (veure annex A). D'entre les preguntes rellevants que s'han fet, destaquem les qüestions sobre la comoditat d'agafar el punt de vista, la utilitat de veure el punter en el mode examen, la utilitat de veure els avatars dels altres usuaris o la dificultat per veure la informació de dos usuaris alhora. Totes les preguntes han sigut valorades amb un nombre de l'1 al 5 on 1 es correspon a "molt dolent" i 5 a "molt bo".

## 6.2 Resultats i comentaris

En aquesta secció comentarem un resum de les respostes dels usuaris als qüestionaris. Hem agrupat els tipus de respostes segons la interacció de la que parlen. Per veure el qüestionari s'ha de veure l'annex A. Han sortit quatre categories:

- Qualitat i utilitat de la informació introduïda: banderes i dibuixos.
- Comoditat i utilitat d'agafar el punt de vista d'un usuari.
- Utilitat de veure una boleta negra on apunta el professor.
- Utilitat de veure els avatars de les persones.

A la figura 6.1 es poden veure els boxplots de les diferents categories.

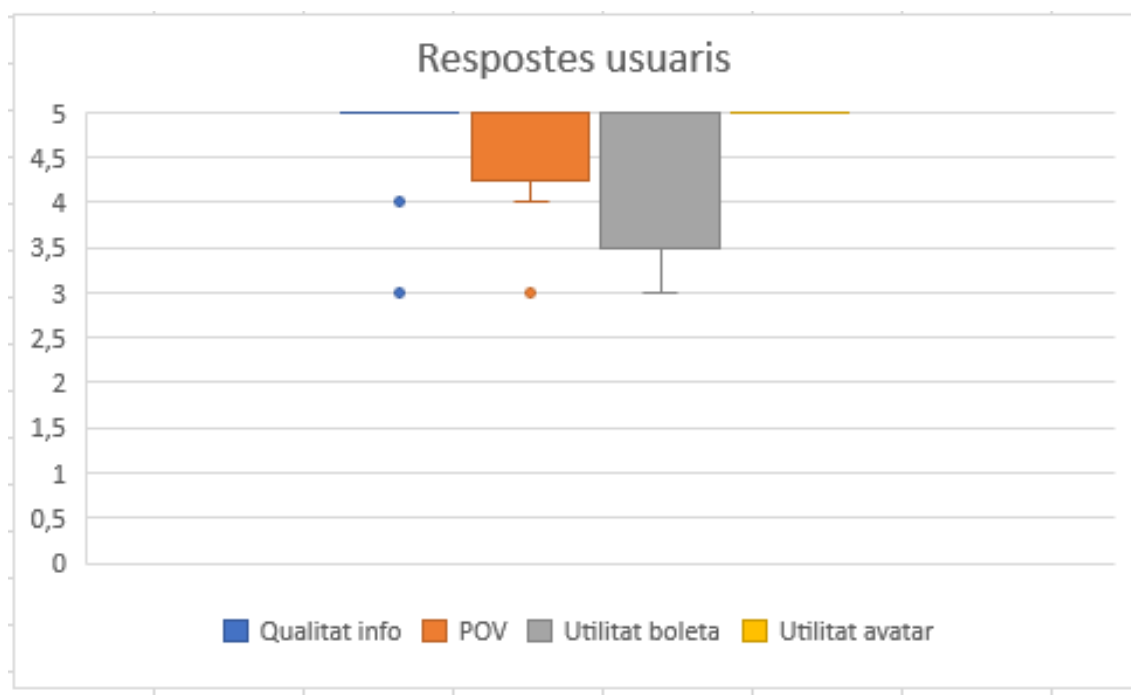


Figura 6.1: Boxplot del resum de respostes a les preguntes del test d'usuari.

Com es pot observar, en la categoria de la qualitat i la utilitat de la informació la mediana es troba en el 5 i hi ha dos valors extrems en el 4 i el 3, el que ens dóna una idea de que la informació és útil en general per als usuaris i es pot observar de forma correcta.

En quant a la comoditat i utilitat d'agafar el punt de vista, els resultats també són positius, però amb una puntuació més baixa. Això pot ser degut a la dificultat per agafar

interaccionar amb el menú del professor quant està el model entre mig, com menciona un dels comentaris donat per un dels usuaris.

La utilitat de la boleta també té més variació en els resultats però és en general bona. I la utilitat de tenir un avatar dels altres usuaris és inequívocament bona.

És important destacar que la mostra d'usuaris no és estadísticament significativa per treure conclusions generals sobre la usabilitat. No és la intenció d'aquest test, que pretén simular el que seria un test intermedi en el pipeline de producció d'una aplicació.

### 6.3 Possibles millores

Recollint els comentaris donats pels qüestionaris dels usuaris i anotacions pròpies a l'hora de conduir el test podem proposar diferents millores.

Un comentari habitual entre usuaris és que les banderes haurien de tenir una separació major quan s'insereixen ja que no es veu bé la línia que les uneix amb el model i a més tapen el model. Aquesta situació és fàcil de corregir ja que la distància de la bandera al model és un paràmetre de l'aplicació.

Un altre comentari freqüent és que haver d'actualitzar la informació manualment es feixuc i s'hauria de fer automàticament. Aquest problema també té una solució fàcil de dissenyar però porta una mica de temps i és el motiu principal pel qual no es va implementar.

Un usuari va mencionar que esborrar dibuixos és difícil perquè has d'apuntar a una esfera específicament. Això ja es va mencionar en la secció 5.3.1 i la solució a aquest problema és un pèl més complicada.

Per últim, d'acord amb un comentari d'un usuari i amb observacions pròpies, els usuaris no actualitzen el punt de vista tan freqüentment com deurien. La causa principal és que el menú del professor pot ser difícil d'accedir si es troba lluny o si està el model entre mig. Una possible solució seria canviar la interacció amb aquest menú al menú principal, que els usuaris puguin rotar.

## Capítol 7

# Gestió de projectes

### 7.1 Actors implicats

#### 7.1.1 Desenvolupador

La persona encarregada de recercar i implementar les tècniques d'interacció proposades. També és l'encarregat d'escriure tota la documentació i la memòria del projecte, així com de la gestió del projecte. Ha de comunicar-se amb el(s) director(s) per establir els objectius del projecte.

#### 7.1.2 Director i co-director

Són els responsables d'ajudar i guiar al desenvolupador i encaminar el projecte. També poden plantejar dates a complir o descobrir errors en el projecte. Les directores d'aquest TFG són Eva Monclús Lahoya, investigadora del grup ViRVIG i Maria Isabel Navazo Alvaro, pertanyent al mateix grup i professora de la FIB.

#### 7.1.3 Beneficiaris

L'aplicació del projecte és una aplicació no comercial i en principi no va dirigida a cap client. No obstant, pot ser útil per a metges i infermeres com a mètode d'ensenyament pels motius exposats a la secció 2.3.2.

## 7.2 Planificació del projecte

La planificació del projecte s'ha variat una mica ja que la planificació en hores que es va donar inicialment al GEP és massa curta.

La durada del projecte és d'uns 4 mesos aproximadament. Comença el dia 15 de febrer de 2018 i es considera que acaba el dia de l'entrega de la memòria, el dia 25 de juny de 2018.

En la taula 7.1 i en la figura 7.1 es poden observar el temps de totes les tasques i el diagrama de Gantt, respectivament.

A continuació descriurem les tasques del projecte.

### 7.2.1 Definició i planificació del projecte

Aquesta es la primera fase del projecte, cal definir el seus objectius i el seu abast, planificar les tasques que es duren a terme, estudiar quins seran els recursos necessaris per a dur a terme el projecte i estat de l'art. A més, es farà un estudi detallat sobre la viabilitat econòmica del projecte i la seva sostenibilitat. La duració aproximada és de 20 hores. Els recursos humans necessaris són els directores i el desenvolupador.

### 7.2.2 Anàlisi i estudi de les tecnologies a utilitzar

Donat que el projecte es fa completament amb Unity, és necessària una presa de contacte amb el programa i les seves funcionalitats. Afortunadament, això era un dels prerequisits de la inscripció del projecte i, com que ja havia utilitzat Unity per l'assignatura de videojocs aquesta tasca és fàcilment assumible.

Un altre requisit del projecte és familiaritzar-se amb la realitat virtual tant des d'un punt de vista usable com de desenvolupament. Aquesta tasca es va fer durant les primeres setmanes del projecte, anant al Centre de Realitat Virtual de la UPC <sup>1</sup>, utilitzant l'HTC Vive i creant programes molt senzills amb Unity integrats amb un plugin que interacciona amb el sistema immersiu (SteamVR). Això requereix també una familiarització amb el plugin de SteamVR de Unity i el framework VRTK, que és un conjunt d'eines molt útils per al desenvolupament de programes de realitat virtual.

La durada d'aquesta tasca és d'unes 30 hores aproximadament i els recursos necessaris per a dur-la a terme són un ordinador amb capacitats suficients per suportar un set de

---

<sup>1</sup><http://www.cs.upc.edu/~jmoyes/crv.html>

realitat virtual, el propi set (HTC Vive en aquest cas) i recursos humans per part del desenvolupador per tal d'entendre les eines necessàries.

### 7.2.3 Implementació de l'aplicació

#### Implementació de l'entorn col·laboratiu

Per tal de poder provar tècniques d'interacció en entorns col·laboratius és necessari implementar un sistema que permeti la interacció de diversos usuaris en el mateix entorn. Per fer això es parteix del codi d'un projecte anterior que necessitava un entorn col·laboratiu. No obstant, per adaptar la solució al projecte i entendre la gestió de la xarxa d'Unity, és necessari escriure codi nou adequat al problema. La duració d'aquesta tasca és d'unes 50 hores. Els recursos humans són els mateixos i als recursos hardware s'afegeix un segon HTC Vive amb un segon ordinador per provar si el sistema funciona.

#### Implementació de tècniques d'interacció

L'objectiu principal del projecte és testear tècniques que facilitin la interacció i inspecció entre diversos usuaris d'un model anatòmic en un sistema immersiu quan aquests estan en el mateix lloc físic. Amb aquest objectiu s'han implementat i avaluat diferents tècniques d'interacció i s'han proposat noves metàfores que es creuen que poden ser solució al problema i provat per veure la usabilitat de la tècnica de cara als usuaris. Com que la elecció d'una tècnica sobre una altra es basa en hipòtesis i els resultats no s'obtenen fins a que es proven, aquesta tasca té una naturalesa iterativa: primer s'implementen les funcionalitats, es corregeixen els errors i es fa una primera avaluació amb els directores i el desenvolupador. La duració d'aquesta tasca ha sigut aproximadament de 280 hores entre hores al Centre de Realitat Virtual (CRV) de la UPC <sup>2</sup> i hores a casa. Els recursos materials utilitzats són el hardware esmentat i l'aplicació desenvolupada fins ara. Els recursos humans són el desenvolupador i les directores.

### 7.2.4 Test d'usabilitat final

En aquesta etapa, s'ha dissenyat un test d'usuari per a avaluar la usabilitat de les solucions escollides. Es defineix un estudi amb l'aplicació i el test a fer, es planifica l'estudi, es fa i s'avaluen els resultats. Aquesta tasca ha portat 5 hores i han sigut necessaris tres ordinadors amb tres HTC Vive i tot el software creat com a recursos materials. Com a

---

<sup>2</sup><http://www.cs.upc.edu/~jmoyes/crv.html>

recursos humans han sigut necessaris el desenvolupador, les directores i els usuaris del test, 8 persones en total.

### 7.2.5 Documentació

Correspon a l'escriptura de la memòria. La duració ha sigut d'unes 48 hores i els recursos necessaris han sigut el desenvolupador del projecte i un ordinador personal.

Tasca	Durada estimada (hores)
Definició i planificació del projecte	20
Anàlisi i estudi de les tecnologies a utilitzar	30
Implementació entorn col·laboratiu	50
Implementació tècniques interacció	280
Tests d'usabilitat	5
Esclusiva de la memòria	48
Total	433

Taula 7.1: Taula dels temps de realització de les tasques

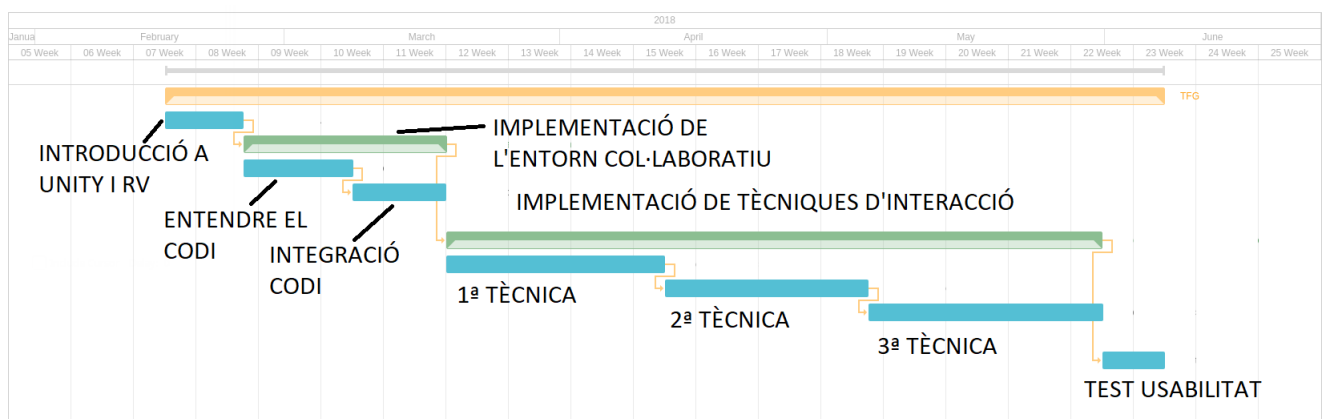


Figura 7.1: Diagrama de gantt. Generat amb <https://app.ganttpro.com/>

## 7.3 Pressupost i sostenibilitat

### 7.3.1 Pressupost del projecte

Per poder dur a terme el projecte es necessiten els recursos mencionats en l'entregable 2: Un mínim de dos dispositius de RV HTC-VIVE, cadascú requerint un PC amb bones prestacions gràfiques. Un d'aquests PCs també fa de servidor de la xarxa requerida. En aquest apartat analitzarem el cost del projecte, tenint en compte el hardware, el software i els recursos humans utilitzats, així com les amortitzacions que es produeixin. També tindrem en compte els costos indirectes.

#### Pressupost del hardware

El projecte necessita un hardware específic pel seu desenvolupament. En la taula 7.2 es poden observar els costos dels elements de hardware i les amortitzacions triennals tenint en compte la vida útil.

Producte	Preu	Unitats	Vida útil	Amortització
Ordinador de sobretaula	1500 €	2	5 anys	75 €
HTC Vive set	700 €	2	5 anys	35 €
Pantalla d'Ordinador	200 €	1	5 anys	10 €
Teclat i ratolí	30 €	1	3 anys	2,5 €
<b>Total</b>	<b>2.430 €</b>			<b>122,5 €</b>

Taula 7.2: Pressupost del hardware

#### Pressupost del software

El software utilitzat per aquest projecte és gratuït. En general, tots els programes utilitzats són de codi obert, excepte Unity. Unity permet utilitzar el seu software de forma gratuïta per organitzacions amb beneficis baixos. En el cas de Visual Studio, s'utilitza la versió Community que es gratuïta. En la taula 7.3 es detalla el pressupost del software utilitzat.

#### Pressupost de recursos humans

El projecte està desenvolupat per una persona que fa els papers de gestor de projectes, desenvolupador de software i de tester. Cada professió té un sou diferent per hora. En la taula 7.4 està el cost associat a les diferents funcions.



<b>Producte</b>	<b>Preu</b>	<b>Unitats</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Amortització</b>
Unity	0 €	1	-	0 €
VRTK	0 €	1	-	0 €
LaTeX	0 €	1	-	0 €
Visual Studio Community 2015	0 €	1	-	0 €
Atom	0 €	1	-	0 €
Git	0 €	1	-	0 €
Github	0 €	1	-	0 €
GanttPro.com	0 €	1	-	0 €
Okular	0 €	1	-	0 €
<b>Total</b>	0 €			0 €

Taula 7.3: Pressupost del software

<b>Professió</b>	<b>Hores</b>	<b>€/hora</b>	<b>Salari</b>
Gestor de projectes	40	50	2.000 €
Desenvolupador de software	250	35	8.750 €
Tester	90	30	2.700 €
<b>Total</b>	380		13.450 €

Taula 7.4: Pressupost de recursos humans

Tasca	Duració (hores)	Dedicació (hores)		
		Gestor de projectes	Desenvolupador de software	Tester
Definició i planificació del projecte	20	20	0	0
Anàlisi i estudi de les tecnologies a utilitzar	30	0	30	0
Implementació entorn col·laboratiu	50	10	30	10
Implementació tècniques interacció	280	10	180	90
<b>Total</b>	<b>380</b>	<b>40</b>	<b>240</b>	<b>100</b>

Taula 7.5: Temps estimat per professió

Professió	Hores	€/hora	Salari
Gestor de projectes	15	50	700 €
Desenvolupador de software	20	35	700 €
Tester	15	30	450 €
<b>Total</b>	<b>50</b>		<b>1.850 €</b>

Taula 7.6: Costs inesperats

I, per últim, en la taula 7.5 tenim la distribució del temps de cada funció en les diferents tasques del projecte.

### Costs inesperats

La taula 7.6 mostra les hores extra resultants d'una desviació de la planificació. El marge que això injecta en el pressupost ens pot ajudar amb els possibles imprevistos que puguin sortir deguts a retards de programació.

### Costs indirectes

En la taula 7.7 es poden observar els costs indirectes derivats de les activitats produïdes.

Producte	Preu	Unitats	Cost
Electricitat	0.15 € / kWh	2500 kWh	375 €
ADSL	40 € / mes	3 mesos	120 €
Material d'oficina	100 €	-	150 €
<b>Total</b>			<b>645 €</b>

Taula 7.7: Costs indirectes

Concepte	Cost
Recursos de hardware	122,5 €
Recursos de software	0 €
Recursos humans	10.610 €
Costs inesperats	1.850 €
Costs indirectes	645 €
<b>Subtotal</b>	<b>13.227,5 €</b>
Contingència 10%	1322,75 €
<b>Total</b>	<b>14.550,25 €</b>

Taula 7.8: Pressupost total

### Pressupost total

Finalment, podem afegir tots els pressupostos anteriors per obtenir el pressupost final (veure taula 7.8). Afegim un 10% de contingència per cobrir esdeveniments imprevistos en el transcurs del projecte.

### 7.3.2 Control del pressupost

Per controlar el pressupost, després de cada activitat es revisaran les hores reals que s'han invertit. També s'observarà el cost dels recursos utilitzats i els costs de esdeveniments inesperats. Després, aquests costs reals es poden comparar amb els costs estimats i aplicar formules que estimin les desviacions produïdes sobre el pressupost estimat. Les següents fórmules són les que s'utilitzaran:

$$\text{Desviació cost} = (CE - CR) \cdot HR$$

$$\text{Desviació consum} = (HE - HR) \cdot CE$$

on

$HE$  = hores estimades

$CE$  = cost estimat

$HR$  = hores reals

$CR$  = cost real

Com que després de cada activitat es comptaran les hores reals i el cost dels recursos, es podrà determinar la desviació del pressupost, que pot ser per una variació en el consum o en el cost. També cal afegir que el pressupost ja té un marge de contingències i costos inesperats per absorbir possibles desviacions de la planificació.

### 7.3.3 Sostenibilitat

Per avaluar la sostenibilitat del projecte, l'impacte en el medi ambient es farà des de tres dimensions: ambiental, econòmic i social. L'anàlisi es basa en l'aplicació de la matriu de sostenibilitat, tal i com es mostra en la taula 7.9.

	PPP	Vida útil	Riscos
<b>Ambiental</b>	Disseny de consum	Vida útil	Riscs ambientals
	6/10	15/20	0/20
<b>Econòmic</b>	Factura	Pla de viabilitat	Riscs econòmics
	5/10	10/20	0/20
<b>Social</b>	Impacte perosnal	Impacte social	Riscs socials
	4/10	8/10	0/10
<b>Rang sostenibilitat</b>	15/30	33/60	0/60
	48/90		

Taula 7.9: Matriu de sostenibilitat del projecte.

#### Dimensió ambiental

Aquest projecte intenta utilitzar el mínim de recursos possibles. De fet, només utilitza l'electricitat necessària per que el hardware funcioni. És cert, però, que la realitat virtual immersiva consumeix bastant més electricitat que un aplicació gràfica normal. Això és així perquè s'ha d'alimentar un *head mounted display* a més de l'ordinador amb una potència gràfica suficient per utilitzar-ho. Com que aquest ordinador ha de ser modern i potent, la reutilització de recursos queda descartada.

No obstant, cal mencionar que qualsevol projecte que intenti cercar tècniques d'interactivitat en realitat virtual també té aquests requisits d'energia. És per això, que els costos ambientals no són diferents dels d'aquest projecte. Si més no, en ésser una solució local ens estalviem el cost afegit del manteniment de la xarxa i dels routers com ocorre amb aplicacions de col·laboració remota.

### **Dimensió econòmica**

En l'apartat anterior es pot observar una descripció detallada dels costos materials i humans. Com ja s'ha mencionat en el subapartat anterior, qualsevol aplicació de realitat virtual immersiva col·laborativa implica, com a mínim, un cost igual al d'aquest projecte. Per tant, no representa una millora respecte a solucions proposades.

### **Dimensió social**

En el pla personal, aquest projecte no aporta beneficis econòmics perquè és un projecte de recerca però sí que permet ampliar coneixements sobre la realitat virtual col·laborativa i la seva vinculació amb la computació.

Tal i com es va mencionar a la introducció, la inspecció de models anatòmics en realitat virtual és més eficient i pedagògica que altres mètodes tradicionals. És per això, que aquest projecte pot aportar beneficis a professors d'anatomia o investigadors que vulguin incloure aquest mètode en les seves classes.

En última instància, la societat es podria beneficiar de forma passiva d'aquest projecte ja que millorar la pedagogia de la medicina pot implicar una millora en la medicina en general.

## Capítol 8

# Conclusions

L'objectiu d'aquest treball era introduir els sistemes immersius col·laboratius locals com a eina d'aprenentatge d'anatomia i comprovar la seva viabilitat i efectivitat. Per fer-ho s'ha dissenyat i implementat una aplicació de realitat virtual immersiva sobre la plataforma *Unity3D* i amb el dispositiu de realitat virtual *HTC Vive*. En aquesta aplicació, s'han implementat les metàfores d'interacció necessàries per a que els usuaris puguin utilitzar la funcionalitat especificada com a objectiu. L'aplicació pretén simular el entorn d'una classe d'anatomia, amb un professor i uns alumnes i dos modes de funcionament, el mode examen i el mode ensenyament. Per últim, per avaluar la usabilitat de l'aplicació, s'ha fet un test d'usabilitat amb diversos usuaris que ens ha donat informació sobre les possibles millores de l'aplicació.

Els resultats obtinguts del test d'usuari són satisfactoris, el que ens confirma la viabilitat d'aquest tipus de sistemes per ensenyar anatomia. No obstant, el món de la pedagogia és molt complex i determinar si un sistema és efectiu com a eina d'aprenentatge és difícil. Seria necessari un estudi més extens i amb més rigor estadístic per confirmar això. No obstant, com a idea introductòria per desenvolupar eines d'aprenentatge més completes i complexes és un projecte vàlid.

Personalment, aquest projecte m'ha donat la oportunitat d'aprofundir el meu coneixement sobre els gràfics per ordinador, específicament en el camp de la realitat virtual del que no en tenia n'idea. Abans de començar el projecte no havia utilitzat mai un casc de realitat virtual immersiu i ara seria tinc coneixements bàsics sobre el desenvolupament d'aplicacions d'aquest tipus. Tot i l'esforç realitzat i la quantitat de treball d'aquest projecte de fi de grau, crec que ha valgut la pena.



## Bibliografia

- [1] D. A. Bowman, E. T. Davis, L. F. Hodges, and A. N. Badre, "Maintaining spatial orientation during travel in an immersive virtual environment," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 8, no. 6, pp. 618–631, 1999.
- [2] D. A. BOWMAN and L. F. HODGES, "Formalizing the design, evaluation, and application of interaction techniques for immersive virtual environments," *Journal of Visual Languages & Computing*, vol. 10, no. 1, pp. 37 – 53, 1999.
- [3] N. Kim, G. J. Kim, C.-M. Park, I. Lee, and S. H. Lim, "Multimodal menu presentation and selection in immersive virtual environments," in *Proceedings IEEE Virtual Reality 2000 (Cat. No.00CB37048)*, pp. 281–, 2000.
- [4] M. Estai and S. Bunt, "Best teaching practices in anatomy education: A critical review," *Annals of Anatomy*, vol. 208, pp. 151–157, 11 2016.
- [5] "Video de youtube que explica com el terme xr va sorgir." [https://www.youtube.com/watch?v=OcPJK\\_1c28U](https://www.youtube.com/watch?v=OcPJK_1c28U). Últim accés 21/06/2018.
- [6] D. A. Bowman, E. Kruijff, J. J. LaViola, and I. Poupyrev, *3D User Interfaces: Theory and Practice*. Redwood City, CA, USA: Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2004.
- [7] "Video de youtube que explica el funcionament de les lents de RV." <https://www.youtube.com/watch?v=NCBEYac876A>. Últim accés 18/06/2018.
- [8] "Article a irisvr on parla de la importància del framerate en RV." <https://help.irisvr.com/hc/en-us/articles/215884547-The-Importance-of-Frame-Rates>. Últim accés 18/06/2018.
- [9] H. Brenton, J. Hernandez, F. Bello, P. Strutton, S. Purkayastha, T. Firth, and A. Darzi, "Using multimedia and web3d to enhance anatomy teaching," *Computers & Education*, vol. 49, pp. 32–53, 2007.
- [10] C. Rosse, "The potential of computerized representations of anatomy in the training of health care providers," *Academic medicine*, vol. 70, no. 6, pp. 499–505, 1995.



- [11] K. H. Hohne, B. Pflessner, A. Pommert, M. Riemer, T. Schiemann, R. Schubert, and U. Tiede, "A 'virtual body' model for surgical education and rehearsal," *Computer*, vol. 29, pp. 25–31, Jan 1996.
- [12] M. Ackerman, V. Spitzer, A. Scherzinger, and D. Whitlock, "The visible human data set: an image resource for anatomical visualization," *Medinfo*, vol. 8, no. 2, pp. 1995–1998, 1995.
- [13] B. Preim, A. Raab, and T. Strothotte, "Coherent zooming of illustrations with 3d-graphics and text," in *Graphics Interface*, vol. 97, pp. 105–113, 1997.
- [14] I. Pitt, B. Preim, and D.-I. S. Schlechtweg, "An evaluation of interaction techniques for the exploration of 3d-illustrations," in *Software-Ergonomie'99*, pp. 275–286, Springer, 1999.
- [15] D. Nicholson, C. Chalk, W. Funnell, and S. Daniel, "A randomised controlled study of a computer-generated three-dimensional anatomical ear model," *Med. Educ.*, vol. 40, no. 11, pp. 1081–1087, 2006.
- [16] J. Starkweather, "Computer-assisted learning in medical education.," *Canadian Medical Association Journal*, vol. 97, no. 12, p. 733, 1967.
- [17] T. Greenhalgh, "Computer assisted learning in undergraduate medical education," *British Medical Journal*, vol. 322, pp. 40–44, Jan 2001.
- [18] K. Sugand, P. Abrahams, and A. Khurana, "The anatomy of anatomy: a review for its modernization," *Anatomical sciences education*, vol. 3, no. 2, pp. 83–89, 2010.
- [19] W. R. Sherman and A. B. Craig, *Understanding virtual reality: Interface, application, and design*. Elsevier, 2002.
- [20] M. Fairén, M. Farrés, J. Moyés, and E. Insa, "Virtual reality to teach anatomy," in *Eurographics 2017*, 2017.
- [21] "Llista de comparació de headsets de real·litat virtual de wikipedia." [https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_virtual\\_reality\\_headsets](https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_virtual_reality_headsets). Últim accés 21/06/2018.
- [22] "Pàgina web amb els requisits de htc vive." [https://www.vive.com/eu/support/vive/category\\_howto/what-are-the-system-requirements.html](https://www.vive.com/eu/support/vive/category_howto/what-are-the-system-requirements.html). Últim accés 21/06/2018.
- [23] "Termes de servei de unity3d." <https://unity3d.com/es/legal/terms-of-service>. Últim accés 21/06/2018.
- [24] R. H. Arpaci-Dusseau and A. C. Arpaci-Dusseau, *Introduction to distributed systems*. Arpaci-Dusseau Books, 2014.

- [25] "Article de desenvolupament del software a wikipedia." [https://en.wikipedia.org/wiki/Software\\_development](https://en.wikipedia.org/wiki/Software_development). Últim accés 22/06/2018.
- [26] M. R. Mine, "Virtual environment interaction techniques." UNC Chapel Hill CS Department, 1995.
- [27] M. Usoh, K. Arthur, M. Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater, and F. Brooks, Jr, "Walking > walking-in-place > flying, in virtual environments," *Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques ACM*, pp. 359–364, June 1999.
- [28] G. Cirio, M. Marchal, T. Regia-Corte, and A. Lécuyer, "The magic barrier tape: a novel metaphor for in nite navigation in virtual worlds with a restricted walking workspace," in *Proceedings of the 16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp. 155–162, November 2009.
- [29] J. J. L. V. Jr., "A discussion of cybersickness in virtual environments," *ACM SIGCHI Bulletin*, vol. 32, no. 1, pp. 47–56, 2000.
- [30] P. I., I. T., W. S., and B. M., "Egocentric object manipulation in virtual environments: Empirical evaluation of interaction techniques," *Computer Graphics Forum*, vol. 17, no. 3, pp. 41–52.
- [31] D. A. Bowman and L. F. Hodges, "An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments," in *Proceedings of the 1997 Symposium on Interactive 3D Graphics, I3D '97*, (New York, NY, USA), pp. 35–ff., ACM, 1997.
- [32] I. Poupyrev, M. Billinghurst, S. Weghorst, and T. Ichikawa, "The go-go interaction technique: Non-linear mapping for direct manipulation in vr," in *Proceedings of the 9th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '96*, (New York, NY, USA), pp. 79–80, ACM, 1996.
- [33] S. D. Roth, "Ray casting for modeling solids," *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 18, no. 2, pp. 109 – 144, 1982.
- [34] J. B. Madsen, M. Tatzqern, C. B. Madsen, D. Schmalstieg, and D. Kalkofen, "Temporal coherence strategies for augmented reality labeling," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 22, pp. 1415–1423, April 2016.
- [35] "Pàgina web de l'estàndard iso 9241-11:1998." <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-1:v1:en>. Últim accés 25/06/2018.
- [36] "Pàgina web amb una preview de l'estàndard iso 9241-11:1998, incloent les seccions de mesura d'usabilitat." <https://www.sis.se/api/document/preview/611299/>. Últim accés 25/06/2018.



## Annex A. Qüestionari del test d'usuari

El voluntari ha de respondre a les següents preguntes després de cada experiment: 1 es correspon a “molt poc” i 5 es correspon a “molt”.

Els alumnes responen al 1r i 2n experiment i el professor al 3r i 4t.

### 1r experiment

- (a) Has identificat bé els òrgans?
- (b) La visualització dels dibuixos era correcta?
- (c) Grau de comoditat en agafar el punt de vista?
- (d) Quan el professor va explicant, mostrar el que assenyala amb la boleta negra, és còmode?

### 2n experiment

- (a) La bandera és útil per identificar?
- (b) Les banderes es veuen bé quan explores?
- (c) Canviar de punt de vista és còmode / útil?
- (d) És útil veure l'avatar dels altres usuaris?
- (e) És millor canviar el punt de vista o moure's?

### 3r experiment

- (a) És senzill canviar el punt de vista quan hi ha més d'un alumne?
- (b) És fàcil veure el dibuix de tots dos alumnes a la vegada?
- (c) És útil el dibuix?

### 4t experiment

- (a) És difícil distingir el que ha fet cada alumne des de la seva posició?
- (b) És útil agafar el seu punt de vista?
- (c) La visualització de les banderes és de qualitat?